

VELOCIDADE DE SECAGEM DE DIFERENTES ARGAMASSAS E SUA IMPLICAÇÃO NA DETERIORAÇÃO DE CANTARIAS E ALVENARIAS DE GRANITO E CALCÁRIO

PEDRO MIGUEL MENDES OLIVEIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM MATERIAIS E PROCESSOS DE
CONSTRUÇÃO**

Orientador: Professor Doutor Arlindo Jorge Sá de Begonha

Coorientadora: Eng.^a Anastácia de Carvalho Silva

JULHO DE 2018

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2017/2018

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2017/2018 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2018.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o Professor Arlindo Begonha, por todo o apoio prestado, simpatia, empenho, disponibilidade e ensinamentos que transmitiu durante todo este projeto.

À minha coorientadora, a Engenheira Anastácia Silva, por todo o apoio e disponibilidade, e por ser uma referência e inspiração para este trabalho.

À secção de Materiais e Processos de Construção, em especial ao Senhor Engenheiro Álvaro Cunha, por ter facilitado a utilização do microscópio eletrónico nesta dissertação.

À empresa AOF, em especial ao Senhor Engenheiro Filipe Ferreira, pelo fornecimento das areias e cal aérea em pasta, bem como toda a disponibilidade e simpatia durante todo o processo.

Ao Senhor Carlos Barbosa, também da AOF, pela disponibilidade na demonstração do fabrico das argamassas utilizadas nesta dissertação.

À empresa Fradical, em especial ao Senhor Engenheiro Fernando Cartaxo, pela disponibilidade e cortesia, bem como o fornecimento da argamassa pronta D. Fradique e respetivos aditivos pozolânicos.

A toda a equipa do Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção (LEMC), em especial ao Gilberto Costa, Dora Pinheiro Cecília Silva, e a Engenheira Patrícia Pereira, por todo o apoio e disponibilidade na realização dos ensaios, assim como todos os momentos de boa disposição passados.

À Senhora Doutora Daniela Silva, do Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP), por toda a disponibilidade, empenho e simpatia durante a utilização do microscópio eletrónico.

Aos meus amigos da faculdade, que atravessaram comigo esta etapa, em especial o Pedro, o Hugo e o José Pedro, por todos os momentos de descontração, mas também pelos momentos de estudo.

Aos meus amigos de sempre, o Diogo, o André e em especial o Olo, por todos os momentos de diversão bem necessário numa etapa tão exigente como esta.

Aos meus pais e irmã, por todo o apoio dado e motivação, por nunca me deixarem desistir e acreditarem em mim, apesar de momentos de menor fulgor.

Finalmente, à Sara, companheira durante toda esta etapa, por todos os momentos passados, por ter sempre acreditado em mim e por ser o meu maior apoio e motivação durante esta fase.

RESUMO

As intervenções de restauro, conservação e reabilitação em edifícios construídos quer com granito quer com calcário são uma prática cada vez mais frequente, mas que, quando realizadas com o recurso a materiais e/ou metodologias incorretas, acarretam malefícios para as edificações.

No presente trabalho e com o intuito de se entender a influência do uso de vários tipos de argamassas nas intervenções, realizaram-se diversas amassaduras com recurso a quatro tipos de ligantes: cimento CEM I 42,5R, cal hidráulica HL5, cal aérea em pasta e uma argamassa pronta D. Fradique combinada com dois aditivos pozolânicos distintos. As argamassas foram submetidas a três tipos de cura diferentes: em câmara húmida, ao ar livre no telhado e no interior de uma sala em laboratório.

Na realização do processo de amassadura, adotaram-se dois processos distintos: conforme referido nos documentos normativos e segundo uma amassadura artesanal.

Realizaram-se ensaios de resistência mecânica à flexão e compressão e de determinação da porosidade livre às 48 horas em todas as argamassas fabricadas, para se obter uma melhor caracterização das amostras. Realizou-se o ensaio de evaporação em provetes cilíndricos de todas as argamassas fabricadas, diversos granitos obtidos de vários monumentos em Portugal e de um tipo de calcário. Com este ensaio pretendeu-se quantificar e comparar as diferentes velocidades de secagem das várias amostras ensaiadas.

Por último, realizou-se um ensaio de ciclos de molhagem e secagem em provetes compostos por duas patelas de granito ou calcário e junta de argamassa, para se averiguar por MEV a possível formação de eflorescências em zonas próximas da junta de argamassa.

Recolheram-se amostras de eflorescências no Hospital de Santo António para estudo mineralógico por MEV.

Paralelamente, realizaram-se cartografias a vários edifícios na cidade do Porto, intervencionados ou não, para se tentar aferir os efeitos do uso de argamassas no estado de conservação das rochas.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassa, granito, calcário, evaporação, secagem, cimento, eflorescência, desagregação granular.

ABSTRACT

Restoration, conservation and rehabilitation interventions in buildings constructed with granite or limestone are an increasingly common practice, but when done with the use of incorrect materials and/or methodologies, can be harmful to buildings.

In the present work and in order to understand the influence of the use of several types of mortars in the interventions, several mixtures were made using four types of binders: CEM I 42.5R cement, HL5 hydraulic lime, paste aerated lime and a D. Fradique ready mortar combined with two distinct pozzolan additives. The mortars were subjected to three different types of cure: in a humid chamber, outdoors on the roof and inside a laboratory room.

Two distinct kneading processes were adopted: according to the standards and according to an artisan kneading.

Mechanical strength tests for flexural strength and compression and determination of 48 hours free porosity were carried out in all mortars in order to obtain a better characterization of the samples. In addition, evaporation tests were performed on cylindrical specimens of all manufactured mortars, several granites obtained from Portuguese monuments and one type of limestone. The purpose of this test was to quantify and compare the different drying rates of the several samples tested.

Wetting and drying cycles were carried out on samples composed of two granite or limestone patellas and a mortar joint in order to verify the possible formation of efflorescence in areas close to the mortar joint.

Efflorescence samples were collected at the Hospital de Santo António for mineralogical study by MEV.

Deterioration cartography was performed on several buildings in the city of Oporto, with or without previous intervention in order to try to evaluate the effects of the use of mortars in the state of conservation of the stones.

KEY WORDS: Mortar, granite, limestone, evaporation, drying, cement, efflorescence, granular disintegration.

ÍNDICE GERAL

| | |
|---|----------|
| AGRADECIMENTOS | I |
| RESUMO | III |
| ABSTRACT | V |
| ÍNDICE GERAL | VII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XI |
| ÍNDICE DE QUADROS | XV |
| SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS | XIX |
| | |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. PREÂMBULO | 1 |
| 1.2. DESCRIÇÃO E OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO | 4 |
| 1.3. ORGANIZAÇÃO DA TESE | 4 |
| | |
| 2. ARGAMASSAS | 7 |
| 2.1. DEFINIÇÃO DE ARGAMASSA | 7 |
| 2.2. CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS | 7 |
| 2.2.1. CIMENTO | 7 |
| 2.2.1.1. Tipos de cimento | 8 |
| 2.2.1.2. Cimento Portland | 8 |
| 2.2.1.3. Processo de fabrico do cimento Portland | 8 |
| 2.2.1.4. Composição química do clínquer de cimento Portland | 9 |
| 2.2.1.5. Reações de hidratação do cimento Portland | 10 |
| 2.2.2. CAL | 11 |
| 2.2.2.1. Cal Aérea | 12 |
| 2.2.2.2. Processo de fabrico da cal aérea | 12 |
| 2.2.2.3. Hidratação da cal aérea | 12 |
| 2.2.2.4. Cal Hidráulica | 12 |
| 2.2.2.5. Obtenção da cal hidráulica | 13 |
| 2.2.2.6. Reação de hidratação e ganho de presa | 13 |
| 2.2.3. AGREGADOS | 13 |
| 2.2.4. ÁGUA DE AMASSADURA | 14 |

| | |
|--|-----------|
| 3. AMOSTRAGEM E MATERIAIS UTILIZADOS | 17 |
| 3.1. MATERIAIS UTILIZADOS | 17 |
| 3.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO | 17 |
| 3.2.1. DETERMINAÇÃO DA MASSA VOLÚMICA..... | 17 |
| 3.2.2. DETERMINAÇÃO DA FINURA – MÉTODO DE BLAINE..... | 18 |
| 3.2.3. DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DE PRESA..... | 21 |
| 3.2.4. DETERMINAÇÃO DA BARIDADE | 23 |
| 3.2.5. ENSAIO DAS PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DOS AGREGADOS – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA..... | 26 |
| 3.3. AMOSTRAGEM | 27 |
| 3.3.1. PROVETES DE ARGAMASSA | 27 |
| 3.3.3.1. Metodologia do fabrico dos provetes..... | 28 |
| 3.3.3.2. Comparação entre os traços obtidos..... | 33 |
| 3.3.3.3. Comparação dos valores para o diâmetro de espalhamento | 33 |
| 3.3.2. PROVETES DE CALCÁRIO | 35 |
| 3.3.3. PROVETES DE GRANITO | 37 |
| | |
| 4. PATOLOGIA DA PEDRA – CASOS DE ESTUDO | 39 |
| 4.1. PATOLOGIAS DA PEDRA | 39 |
| 4.1.1. DESAGREGAÇÃO GRANULAR..... | 39 |
| 4.1.2. PLACAS | 44 |
| 4.1.3. EFLORESCÊNCIAS | 45 |
| 4.1.4. FILMES NEGROS | 47 |
| 4.2. INFLUÊNCIA DAS ARGAMASSAS DE CIMENTO | 49 |
| 4.3. CASOS DE ESTUDO | 50 |
| 4.3.1. O GRANITO DO PORTO..... | 51 |
| 4.3.2. HOSPITAL SANTO ANTÓNIO..... | 51 |
| 4.3.3. IGREJA DO CARMO | 56 |
| 4.3.4. IGREJA PAROQUIAL DE SÃO JOÃO DA FOZ DO DOURO | 58 |
| 4.3.5. CAPELA-FAROL DE SÃO MIGUEL-O-ANJO | 59 |
| 4.3.6. MURO NA RUA DA LAPA DO ANTIGO QUARTEL GENERAL..... | 60 |
| | |
| 5. ENSAIOS LABORATORIAIS | 63 |
| 5.1. ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS MECÂNICAS..... | 63 |
| 5.1.1. DEFINIÇÃO DE ROTURA | 63 |

| | |
|---|----------------|
| 5.1.2. METODOLOGIA DE ENSAIO | 63 |
| 5.1.3. RESISTÊNCIAS À FLEXÃO E COMPRESSÃO | 64 |
| 5.1.4. RESULTADOS – ARGAMASSAS DE CIMENTO CEM I 42,5R | 66 |
| 5.1.5. RESULTADOS – ARGAMASSAS DE CAL HIDRÁULICA HL5 | 72 |
| 5.1.6. RESULTADOS – ARGAMASSAS PRONTAS D. FRADIQUE | 77 |
| 5.1.7. RESULTADOS – ARGAMASSA DE CAL AÉREA EM PASTA | 80 |
| 5.2. ENSAIO DE POROSIDADE LIVRE ÀS 48 HORAS | 81 |
| 5.2.1. CONCEITO DE POROSIDADE | 81 |
| 5.2.2. METODOLOGIA DE ENSAIO | 82 |
| 5.2.3. RESULTADOS – ARGAMASSAS DE CIMENTO CEM I 42,5R | 83 |
| 5.2.4. RESULTADOS – ARGAMASSAS DE CAL HIDRÁULICA HL5 | 84 |
| 5.2.5. RESULTADOS – ARGAMASSAS PRONTAS D. FRADIQUE | 85 |
| 5.2.6. RESULTADOS – ARGAMASSA DE CAL AÉREA EM PASTA | 86 |
| 5.2.7. RESULTADOS – GRANITOS | 87 |
| 5.2.8. RESULTADOS – CALCÁRIOS | 90 |
| 5.3. ENSAIO DE EVAPORAÇÃO | 91 |
| 5.3.1. RESULTADOS – ARGAMASSA DE CIMENTO CEM I 42,5R | 93 |
| 5.3.2. RESULTADOS – ARGAMASSA DE CAL HIDRÁULICA HL5 | 94 |
| 5.3.3. RESULTADOS – ARGAMASSAS PRONTAS D. FRADIQUE | 95 |
| 5.3.4. RESULTADOS – ARGAMASSA DE CAL AÉREA EM PASTA | 96 |
| 5.3.5. RESULTADOS – GRANITOS | 96 |
| 5.3.6. RESULTADOS – CALCÁRIOS | 98 |
| 5.4. CICLOS DE MOLHAGEM E SECAGEM | 101 |
| 5.4.1. METODOLOGIA DE ENSAIO | 103 |
| 6. ESTUDO MINERALÓGICO | 107 |
| 6.1. INTRODUÇÃO | 107 |
| 6.2. ESTUDO MINERALÓGICO DAS EFLORESCÊNCIAS PULVERULENTAS RECOLHIDAS NO HOSPITAL DE SANTO ANTÔNIO | 107 |
| 6.3. ESTUDO MINERALÓGICO DE EFLORESCÊNCIAS RECOLHIDAS EM PROVETES CONSTITUÍDOS POR DUAS PATELAS E JUNTA DE ARGAMASSA ANTERIORMENTE SUJEITOS SUJEITAS A CICLOS DE SECAGEM-MOLHAGEM | 121 |
| 7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS | 127 |
| 7.1. CONCLUSÕES FINAIS | 127 |

| | |
|--|------------|
| 7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS | 129 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 131 |
| ANEXOS | 147 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 3.1 – Diferentes fases do ensaio de determinação da massa volúmica | 18 |
| Figura 3.2 - Equipamentos utilizados no ensaio para a determinação da finura | 19 |
| Figura 3.3 - Aparelhos de Vicat utilizados na determinação da pasta de consistência normal e determinação dos tempos de início e fim de presa..... | 21 |
| Figura 3.4 - Aparelho de Le Chatelier utilizado para determinar a expansibilidade | 22 |
| Figura 3.5 - Fases do ensaio para a determinação da baridade | 24 |
| Figura 3.6 - Curva granulométrica da areia AREIPOR AGS 1.0 – 2.0 | 26 |
| Figura 3.7 - Curva granulométrica da areia AREIPOR APAS20 | 26 |
| Figura 3.8 - Curva granulométrica da meia areia..... | 27 |
| Figura 3.9 - Provetes prismáticos de 40 mm x 40 mm x 160 mm | 28 |
| Figura 3.10 - Provetes cilíndricos fabricados | 28 |
| Figura 3.11 - Equipamento utilizado no processo de amassadura | 29 |
| Figura 3.12 - Ensaio com a mesa de espalhamento | 30 |
| Figura 3.13 - Diferentes etapas do processo de amassadura artesanal executada pelo Senhor Carlos Barbosa | 31 |
| Figura 3.14 - Extração de carotes em pedra calcária | 35 |
| Figura 3.15 - Carotes e provetes de calcário | 36 |
| Figura 4.1 – Aspetos de desagregação granular de intensidade forte a intermédia em edifícios no Porto | 40 |
| Figura 4.2 – Aspetos de placas em edifícios no Porto..... | 44 |
| Figura 4.3 - Fachada Este do Hospital de Santo António, Porto - Formação de eflorescências em zonas contíguas de argamassas de cimento. | 46 |
| Figura 4.4 – Fachada Sul do Hospital de Santo António, Porto – Aspeto geral de filmes negros | 48 |
| Figura 4.5 – Hospital de Santo António, Porto - Perda de material pétreo em zonas adjacentes a juntas de argamassa de cimento | 50 |
| Figura 4.6 – Hospital de Santo António, Porto - Utilização de argamassas de cimento em trabalhos de restauro prévios..... | 52 |
| Figura 4.7 – Cartografias das deteriorações em setores da fachada Este do Hospital de Santo António | 53 |
| Figura 4.8 – Cartografias das deteriorações em setores do muro de suporte da fachada Sul do Hospital de Santo António | 54 |
| Figura 4.9 - Cartografias das deteriorações em setores do muro de suporte da fachada Sul do Hospital de Santo António | 55 |
| Figura 4.10 – Igreja do Carmo – Cartografia das deteriorações na fachada Este | 57 |
| Figura 4.11 - Igreja do Carmo – Cartografia das deteriorações na fachada Sul | 58 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.12 – Igreja Paroquial de São João da Foz do Douro – Cartografia das deteriorações na pilastra orientada para És-Nordeste | 59 |
| Figura 4.13 – Capela Farol de São Miguel-o-Anjo – Cartografia das deteriorações | 60 |
| Figura 4.14 – Muro do Quartel General na Rua da Lapa – Cartografia das deteriorações..... | 61 |
| Figura 5.1 – Tipos de cura | 64 |
| Figura 5.2 – Ensaio à flexão..... | 65 |
| Figura 5.3 – Ensaio à compressão..... | 65 |
| Figura 5.4 – Heterogeneidade observada nos provetes CA1 | 68 |
| Figura 5.5 – Argamassas de cimento CEM I42.R - Valores obtidos para o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias | 72 |
| Figura 5.6 – Argamassas de cal hidráulica HL5 - Valores obtidos para o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias | 77 |
| Figura 5.7 – Argamassas prontas - Valores obtidos para o ensaio de resistência à compressão com três tipos de cura | 80 |
| Figura 5.8 – Argamassas de cal aérea - Provetes após a aplicação da solução de fenolftaleína | 81 |
| Figura 5.9 – Diferentes etapas do ensaio para a determinação da porosidade livre às 48h | 82 |
| Figura 5.10 – Valores para a porosidade livre às 48h de todas argamassas ensaiadas | 86 |
| Figura 5.11 – Provetes durante o ensaio de evaporação | 92 |
| Figura 5.12 – Ensaio de evaporação – determinação de q e Sc | 93 |
| Figura 5.13 – Cronograma do ensaio de molhagem e secagem..... | 103 |
| Figura 5.14 – Teores dos iões sódio e cloro das águas das chuvas do Porto e de Braga (Begonha et al.,1996, Begonha, 1997, 2001) | 104 |
| Figura 5.15- Teores dos iões cálcio e sulfato das águas das chuvas do Porto (Begonha et al.,1996, Begonha, 1997, 2001) | 105 |
| Figura 5.16 - Teores dos iões cálcio e sulfato das águas das chuvas de Braga (Begonha et al.,1996, Begonha, 1997, 2001) | 105 |
| Figura 6.1 – Hospital de Santo António - Localização das eflorescências pulverulentas..... | 108 |
| Figura 6.2 – HSA 202 - Singenite – Imagens e espectro obtidos por MEV | 110 |
| Figura 6.3 – HSA 202 – Imagens da singenite, gesso e aphthitalite e espectro do gesso obtidos por MEV | 111 |
| Figura 6.4 – Imagens de aphthitalite e thenardite e respetivos espectros obtidos por MEV..... | 112 |
| Figura 6.5 – Imagens de thenardite, aphthitalite e nitratite e espectro da nitratite obtidos por MEV .. | 113 |
| Figura 6.6 – HSA 202 – Imagens de halite, aphthitalite, nitratite e niter e espectros da halite e niter obtidos por MEV | 114 |
| Figura 6.7 – HSA 202 – Imagens de halite, nitratite, niter, aphthitalite, thenardite, singenite e cinza volante porosa carbonosa e espectro desta última obtidos por MEV | 115 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6.8 – HSA 205 – Imagens e espectros do gesso e da halite obtidos por MEV | 116 |
| Figura 6.9 – HSA 205 – Imagens de halite, gesso, niter e aphthitalite e espectro do niter obtidos por MEV | 117 |
| Figura 6.10 – HSA 205 – Imagens de nitratite, niter, halite, calcite e gesso e espectro da nitratite obtidos por MEV | 118 |
| Figura 6.11 – HSA 200 – Imagens de gesso e halite e espectro do gesso obtidos por MEV | 119 |
| Figura 6.12 – HSA 200 – Imagens e espectros de singenite e halite obtidos por MEV | 120 |
| Figura 6.13 – H 150 – Imagens e espectros de gesso e etringite obtidos por MEV | 123 |
| Figura 6.14 – HMV 58.1 – Imagens de calcite obtidos por MEV | 124 |
| Figura 6.15 – SPO 1.3-2.1 – Imagens e espectros calcite obtidos por MEV | 125 |
| Figura 6.16 – SPO 1.3-2.1 – Imagens e espectros de gesso obtidos por MEV | 126 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 2.1 - Limites da composição química do cimento Portland (Sousa Coutinho, 1988) | 8 |
| Quadro 2.2 - Composição química do cimento Portland (Neville, 1995) | 9 |
| Quadro 2.3 - Classificação dos tipos de cal segundo a NP EN 459-1 (2015) | 11 |
| Quadro 2.4 - Classificação de agregados em relação à massa volúmica (Sousa Coutinho, 1988) | 13 |
| Quadro 2.5 - Classificação dos agregados quanto à baridade (Sousa Coutinho, 1988) | 14 |
| Quadro 2.6 - Valores para o ensaio de espalhamento (NP EN 459-2 (2011)) | 15 |
| Quadro 3.1 - Valores obtidos para as massas volúmicas | 18 |
| Quadro 3.2- Valores obtidos para ensaio segundo o método de Blaine | 21 |
| Quadro 3.3 - Valores obtidos para o ensaio da determinação do tempo de início e de fim de presa ... | 22 |
| Quadro 3.4 - Valores obtidos para o ensaio de expansibilidade | 23 |
| Quadro 3.5 - Valores do volume do recipiente em função da máxima dimensão do agregado (adaptado da NP EN 1097-3 (2002)) | 23 |
| Quadro 3.6 - Baridade - Valores obtidos para os agregados | 25 |
| Quadro 3.7 - Baridade - Valores obtidos para os ligantes | 25 |
| Quadro 3.8 - Nomenclatura atribuída aos provetes | 27 |
| Quadro 3.9 - Quantidades utilizadas no fabrico dos provetes, para traço em peso | 29 |
| Quadro 3.10 - Quantidades em peso utilizadas no fabrico dos provetes pelo processo artesanal | 32 |
| Quadro 3.11 - Quantidades obtidas e proporções utilizadas no fabrico de provetes de argamassa pronta | 32 |
| Quadro 3.12 - Comparação entre os traços em peso obtidos | 33 |
| Quadro 3.13 - Valores de A/C e diâmetro de espalhamento obtidos a partir das quantidades em peso de ligante, agregado e água calculadas teoricamente pelos traços em volume. | 34 |
| Quadro 3.14 - Diâmetros de espalhamento obtidos para as argamassas realizadas pelo método artesanal | 34 |
| Quadro 3.15 - Dimensão dos provetes cilíndricos de calcário | 36 |
| Quadro 3.16 - Provetes cilíndricos e patelas de granito – Siglas e monumentos de origem | 37 |
| Quadro 3.17 - Dimensão dos provetes cilíndricos de granito | 38 |
| Quadro 4.1 – Minerais mais frequentemente encontrados em edificações e o seu respetivo volume molar | 41 |
| Quadro 4.2 – Solubilidade dos minerais de sais solúveis mais frequentes | 42 |
| Quadro 4.3 – Rilação entre a intensidade de desagregação granular e a resistência à compressão uniaxial pelo ensaio do esclerómetro de Schmidt (Madureira, 2008) | 43 |
| Quadro 5.1 –Argamassas de cimento CEM I 42.5R - Resistências aos 7 dias com traço em peso e cura na câmara húmida | 66 |

| | |
|--|----|
| Quadro 5.2 - Argamassas de cimento CEM I 42.5R - Resistências aos 28 dias com traço em peso e cura na câmara húmida..... | 67 |
| Quadro 5.3 - Argamassas de cimento CEM I 42.5R - Resistências aos 28 dias com traço em volume e cura na câmara húmida..... | 68 |
| Quadro 5.4 – Argamassas de cimento CEM I 42.5R - Resistências aos 28 dias com traço em peso e cura ao ar livre..... | 69 |
| Quadro 5.5 - Resistências à flexão e à compressão aos 28 dias de argamassas de cimento CEM I 42.5R com traço em volume e cura ao ar livre no telhado | 71 |
| Quadro 5.6 – Argamassas de cal hidráulica HL5 - Resistências aos 28 dias com traço em peso e cura na câmara húmida..... | 73 |
| Quadro 5.7 - Argamassas de cal hidráulica HL5 - Resistências aos 28 dias com traço em volume e cura na câmara húmida..... | 73 |
| Quadro 5.8 – Argamassas de cal hidráulica HL5 - Resistência aos 28 dias com traço em peso e cura ao ar livre no telhado | 75 |
| Quadro 5.9 – Argamassas de cal hidráulica HL5 - resistências aos 28 dias com traço em volume e cura ao ar livre no telhado | 76 |
| Quadro 5.10- Argamassas prontas - Resistência aos 28 dias com cura em câmara húmida, mas não submersas em água..... | 78 |
| Quadro 5.11 –Argamassas prontas - Resistência aos 28 dias com cura ao ar livre no telhado | 78 |
| Quadro 5.12 – Argamassa pronta – Resistência aos 60 dias com cura ao ar livre no interior do LEMC..... | 79 |
| Quadro 5.13 – Argamassa de cal aérea - Resistência aos 60 dias com cura ao ar livre no interior do LEMC..... | 80 |
| Quadro 5.14 – Argmassas de cimento CEM I 42,5R –Resultados obtidos para a porosidade livre às 48h | 83 |
| Quadro 5.15 – Porosidade livre às 48h em provetes de argamassas (Sousa, 2009) | 84 |
| Quadro 5.16 – Argmassas de cal hidráulica HL5 - Resultados obtidos para a porosidade livre às 48h..... | 84 |
| Quadro 5.17 – Argmassas prontas D.Fradique - Resultados obtidos para a porosidade livre às 48h..... | 85 |
| Quadro 5.18 – Cal aérea em pasta - Resultados obtidos para a porosidade livre às 48h | 86 |
| Quadro 5.19 – Granitos - Resultados obtidos para a porosidade livre às 48h | 87 |
| Quadro 5.20 – Granitos - Valores para a porosidade livre às 48h obtidos por diversos autores | 88 |
| Quadro 5.21 – Calcários - Resultados obtidos para a porosidade livre às 48h..... | 90 |
| Quadro 5.22 - Argmassas de cimento CEM I 42,5R – Resultados do ensaio de evaporação | 93 |
| Quadro 5.23 - Argmassas de cal hidráulica HL5 – Resultados do ensaio de evaporação..... | 94 |
| Quadro 5.24 - Argmassas prontas D. Fradique – Resultados do ensaio de evaporação | 95 |
| Quadro 5.25 - Argmassas de cal aérea em pasta – Resultados do ensaio de evaporação..... | 96 |

| | |
|--|-----|
| Quadro 5.26 - Granitos – Resultados do ensaio de evaporação..... | 97 |
| Quadro 5.27 - Calcários – Resultados do ensaio de evaporação | 98 |
| Quadro 5.28 – Ensaio de evaporação – Quadro-resumo do ensaio de evaporação | 99 |
| Quadro 5.28 – Ensaio de evaporação – Quadro-resumo do ensaio de evaporação (continuação) ... | 100 |
| Quadro 5.28 – Ensaio de evaporação – Quadro-resumo do ensaio de evaporação (continuação) ... | 101 |
| Quadro 5.29 – Constituição dos provetes do ensaio de molhagem e secagem | 102 |
| Quadro 6.1 – Hospital de Santo António – Descrição, data de recolha e cotas das eflorescências pulverulentas | 108 |
| Quadro 6.2 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas eflorescências pulverulentas | 109 |
| Quadro 6.3 - Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas eflorescências | 122 |

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

D – Coeficiente de difusão – ($\text{cm}^2 \times \text{h}^{-1}$).

DRX - Difração dos raios X.

MEV-EDS – Microscopia eletrônica de varrimento equipada com microanálise de raios X.

m – Massa – (g).

N_T – Porosidade total obtida em ensaio de embebição com água sob vazio e sob pressão – (%).

N₄₈ – Porosidade livre às 48 horas obtida em ensaio de embebição com água à pressão normal – (%).

P – Pressão atmosférica – (atm).

P_r – Pressão de referência – ($1,013 \times 10^5$ Pa).

q – Fluxo de evaporação – ($\text{g} \times \text{cm}^{-2} \times \text{h}^{-1}$).

S – Área/ Superfície – (cm^2).

S_c – Saturação crítica (ensaio de evaporação) – (%).

T – Temperatura absoluta – (°K).

T_r – Temperatura absoluta de referência – (273,15 °K).

t(S_c) – Intervalo de tempo necessário para atingir a saturação crítica S_c (ensaio de evaporação) – (h).

t₀ – Instante inicial – (s).

V – Volume do sólido – (cm^3).

V_m – Volume molar – ($\text{cm}^3 \times \text{mol}^{-1}$).

W₀ – Peso do provete seco – (g).

W₄₈ – Peso de um provete após 48 horas de embebição em água – (g).

ρ – Massa volúmica – ($\text{kg} \times \text{m}^{-3}$).

ρ_b – Baridade – ($\text{kg} \times \text{m}^{-3}$).

INTRODUÇÃO

1.1. PREÂMBULO

O Homem sentiu necessidade, desde os primórdios da civilização, de perpetuar determinados acontecimentos marcantes na história das tribos, dos povos, das cidades ou de uma família importante. A pedra foi utilizada de início como abrigo natural em grutas e cavernas. Posteriormente, foi sem dúvida o material nobre utilizado na construção de edifícios e monumentos dada a sua abundância, propriedades mecânicas e decorativas e, sobretudo, pela sua durabilidade. Monumentos megalíticos, construções funerárias, templos, igrejas e catedrais, palácios e monumentos comemorativos de feitos importantes foram construídos com um ou mais tipos de rochas de natureza por vezes muito diversificada.

Muitas destas construções perduram até aos dias de hoje e são consideradas pontos de referência e património da Humanidade, como por exemplo, as pirâmides de Gizé, no Egito, contruídas a partir de blocos de pedra calcária no terceiro milénio a.C., única das sete maravilhas do Mundo antigo que sobreviveu até aos dias de hoje. Além disso, cinco das sete maravilhas do Mundo moderno foram construídas com pedra, designadamente, Petra, na Jordânia, construída a partir do século IV a.C. em arenito, o Anfiteatro Flaviano, em Roma, edificado com travertino no século I, Chichén Itzá, no México, erigida em calcário entre os séculos VI e IX, Machu Picchu, no Peru, erguido no século XV em granito e o Taj Mahal, na Índia, cuja construção ocorreu no século XVII em mármore.

Os calcários e arenitos foram os dois tipos de rochas mais usados nas construções, dada a sua grande distribuição à superfície da Terra. São normalmente rochas relativamente brandas, fáceis de trabalhar pelos mestres pedreiros, permitindo não só a edificação de grandes estruturas como as pirâmides do Egito, mas também a execução de ornamentos muito pormenorizados e por vezes extremamente delicados.

O mármore foi amplamente empregue por diversos povos, nomeadamente Gregos e Romanos, em palácios e templos, estruturas simultaneamente duráveis e de grande sentido estético, estando muitas vezes associado a uma afirmação de poder económico, social ou político.

As rochas ígneas foram menos aplicadas na construção por serem menos frequentes à superfície do que as rochas sedimentares e por serem mais duras e difíceis de trabalhar. Os basaltos e traquitos empregaram-se principalmente nos templos e construções da região de Nápoles e em arquipélagos de ilhas vulcânicas, como os Açores, Madeira, Canárias e Cabo Verde.

Em Portugal, o calcário foi a rocha mais usada no litoral centro e no Sul do país, como são exemplos a Sé de Aveiro, a Sé Nova e Velha de Coimbra e a Sé de Lisboa. O calcário Lioz foi a pedra mais utilizada em Lisboa até ao século XX. Durante o período dos Descobrimentos, o calcário Lioz foi usado nos

principais monumentos portugueses da época, como a Torre de Belém e o Mosteiro dos Jerónimos. Grandes quantidades desta pedra foram ainda levadas pelos portugueses para o Brasil, nomeadamente para São Salvador da Bahia, com a qual se ergueu a Catedral Basílica Primacial de São Salvador e a Basílica de Nossa Senhora da Conceição da Praia.

O granito foi a rocha mais usada no Norte e interior centro de Portugal, como são exemplos a Sé de Braga (século XI), Porto, Viseu, Lamego (séculos XII e XIII) e Guarda (século XIV) e, mais recentemente, a Torre dos Clérigos (século XVIII) e o edifício da Câmara Municipal do Porto (século XX).

O arenito tem pouca expressão em Portugal como material de construção, tendo sido empregue, por exemplo, no Castelo de Silves, no Algarve.

Durante muito tempo e devido à durabilidade apresentada por estas construções, a pedra era vista como um material eterno. No entanto, hoje reconhece-se que os edifícios e principalmente os monumentos requerem manutenção e cuidados especiais.

No estado atual dos conhecimentos, sabe-se que a pedra é um material sensível à ação da água (quer sob a forma líquida, chuva e água freática, quer do gelo), aos elementos atmosféricos (humidade relativa do ar, temperatura e vento), à ação dos minerais de sais solúveis (ciclos de cristalização/dissolução, cristalização/deliquescência, hidratação/desidratação) e à atividade biológica (plantas, algas, líquenes, fungos e animais, sobretudo as aves).

No entanto, um dos maiores catalisadores da degradação destes edifícios continua a ser o Homem e as consequências das suas ações: guerras; poluição antropogénica, formando ambientes atmosféricos urbanos e/ou industriais ácidos em consequência da Revolução Industrial no século XVIII e sobretudo no século XX, em particular após a segunda guerra mundial, devido ao aumento do consumo e queima de combustíveis fósseis como o petróleo e seus derivados e o carvão; vandalismo; intervenções nas edificações; atividades fisiológicas e decomposição dos corpos no interior de igrejas e conventos.

A formação de ambientes muito ácidos em regiões urbanas e/ou industriais, em resultado da poluição atmosférica, mostrou ser extremamente prejudicial para a maioria dos monumentos construídos com rochas carbonatadas como calcários, mármore e arenitos calcários.

Com o avanço da deterioração dos edifícios, foi necessário realizarem-se intervenções, para que o estado de conservação dos mesmos não se degradasse irremediavelmente. A maioria das intervenções consistiram em limpezas superficiais das fachadas, em refechamento de juntas ou preenchimento de lacunas recorrendo a argamassas de cal. Contudo, com o aparecimento do cimento e a generalização do uso das argamassas do mesmo nas intervenções de restauro e manutenção, verificaram-se alguns agravamentos no que diz respeito à deterioração das rochas.

Efetivamente, as intervenções de conservação e restauro em edifícios, quer de granito quer de calcário, recorrendo a argamassas de cimento, promoveram uma maior deterioração das rochas, dado que as características petrofísicas das mesmas, associadas a diferentes estados de meteorização e/ou deterioração, são distintas das das argamassas de cimento, já de si ricas em iões de sais solúveis.

A cristalização dos minerais de sais solúveis no interior da rede porosa das rochas origina forças de tração que, com o passar do tempo e após vários ciclos de cristalização/dissolução, cristalização/deliquescência ou hidratação/desidratação, levam à destruição do material pétreo. Os minerais de sais solúveis mais frequentes são os cloretos, sulfatos, nitratos e carbonatos simples ou duplos de sódio, potássio, cálcio e magnésio, os nitratos de amónia, os fosfatos e os oxalatos de cálcio.

Os primeiros estudos sobre a deterioração da pedra em calcários, arenitos e mármore iniciaram-se na década de sessenta do século XX (Millot *et al.*, 1967), mas foi sobretudo nas décadas de setenta e oitenta do mesmo século que se assistiu a um maior incremento destes estudos nos países mais industrializados da Europa, nomeadamente em Itália, França, Reino Unido, Alemanha, Suíça, Bélgica, Dinamarca e Espanha (Millot e Jeannette, 1975, Beaucourt, 1975, Beaucourt e Jaton, 1975, Arnold, 1976, 1978, 1984, Fassina *et al.*, 1976, Zehnder, 1979, Jeannette, 1980, 1981, 1982, Del Monte *et al.*, 1981, Fritz e Jeannette, 1981, Fassina *et al.*, 1982, Amoroso e Fassina, 1983, Del Monte *et al.*, 1984a, 1984b, Zehnder e Arnold, 1984, 1988, 1989, Arnold e Kueng, 1985, Arnold e Zehnder, 1985, 1987, 1988, 1989, Groux, 1986, Del Monte e Sabbionni, 1987, Ordaz e Esbert, 1985, Camuffo, 1988, Camuffo *et al.*, 1988, Roekens *et al.*, 1988, Bromblet, 1989, Roekens e Van Grieken, 1989, Saaby *et al.*, 1989, Tabasso, 1989) e também nos Estados Unidos da América (Feddemma e Meierding, 1987) e Israel (Peleg *et al.*, 1989), entre outros.

Os estudos sobre a degradação das pedras graníticas nas edificações só apareceram um pouco mais tarde em consequência de vários fatores. Os monumentos graníticos situam-se em zonas mais periféricas da Europa onde os recursos destinados à investigação científica eram menores como o Norte e Centro de Portugal, Irlanda, Bretanha, Galiza e região de Madrid. Considerava-se ainda que o granito era um material de construção eterno em virtude da sua elevada resistência à compressão e baixa porosidade.

Em Portugal, os primeiros trabalhos sobre a patologia da pedra surgiram na década de setenta e oitenta do século XX, incluindo a caracterização e mecanismos de formação dos diversos tipos de deteriorações, o diagnóstico do estado de conservação da pedra e técnicas e metodologias de manutenção, conservação, proteção e reabilitação da pedra. (designadamente Castro, 1974, 1977, 1979a, 1979b, 1981, 1983, 1985, 1988, Delgado Rodrigues, 1978, 1991, Delgado Rodrigues e Gil Saraiva, 1985, Castro *et al.*, 1985, 1987, 1988, 1990a, 1990b, 1991a, 1991b, Castro e Cravo, 1987, Castro e Delgado Rodrigues, 1987, 1989a, 1989b, Delgado Rodrigues e Castro, 1989, 1990, Aires-Barros, 1991).

No entanto, os estudos sobre a patologia da pedra em granitos tiveram maior impulso em finais da década de oitenta e principalmente na década de noventa, em resultado das investigações desenvolvidas no âmbito dos projetos europeus STEP CT900101, CT900107, CT900110 que incidiram essencialmente sobre o diagnóstico do estado de conservação da pedra em monumentos e edifícios graníticos do Norte de Portugal (nomeadamente Sequeira Braga *et al.*, 1993, Begonha e Sequeira Braga, 1993, 1994, 1995, 1996a, 1996b, 2000, Alves *et al.*, 1993, Alves e Sequeira Braga, 1993, 1994, 1995, 1996, Begonha *et al.*, 1994, Begonha *et al.*, 1995, 1996, Sequeira Braga *et al.*, 1996, Alves *et al.*, 1996, Begonha, 1997, Alves, 1997), Sul de Portugal (Delgado Rodrigues, 1993a, 1993b, 1993c, 1996, Ferreira Pinto, 1993, Delgado Rodrigues *et al.*, 1994, Ferreira Pinto *et al.*, 1994, Schiavon *et al.*, 1994, 1996, Delgado Rodrigues *et al.*, 1996, Rosa, 1996), Galiza (Casal Porto, 1989, Casal Porto *et al.*, 1989, Casal Porto *et al.*, 1991, Casal Porto *et al.*, 1992, Silva Hermo *et al.*, 1994, Rivas Brea *et al.*, 1994, Silva Hermo *et al.*, 1996a, Silva Hermo *et al.*, 1996b), região de Madrid (Vicente *et al.*, 1993, Fort *et al.*, 1995, Vicente, 1996), Bretanha (Bernabé *et al.*, 1995, Robert *et al.*, 1996, Bernabé *et al.*, 1996) e Irlanda (Cooper, 1989, 1993, 1994, Cooper *et al.*, 1991, Haneef *et al.*, 1991, Smith *et al.*, 1993, O'Brien *et al.*, 1993, Warke e Smith, 1994, Duffy e Perry, 1994, Jones *et al.*, 1996, Young *et al.*, 1996).

Mais recentemente, Freitas *et al.*, 1997, Teles e Begonha, 1999, Delgado Rodrigues, 2000, Begonha, 2000, 2001, 2002a, 2002b, 2002c, 2002d, 2003a, 2003b, 2003c, 2003d, 2004a, 2004b, 2005, 2006, 2008, 2009a, 2009b, 2009c, 2010, 2011a, 2011b, 2012, Delgado Rodrigues e Costa, 2000, Begonha e Teles, 2000, Oliveira, 2001, Ferreira, 2004, Malheiro *et al.*, 2004, Moutinho, 2005, Freitas *et al.*, 2005, Fojo, 2006, Begonha e Fojo, 2006, 2008, Costa 2007, Costa Leite, 2008, Cardoso, 2008, Bré, 2008, Madureira, 2008, Oliveira, 2008, Costa *et al.*, 2008, Begonha e Moutinho, 2008, Pinho *et al.*, 2009, Sousa, 2009, Resende, 2010, Sequeira Braga e Begonha, 2010, Begonha e Pinho, 2010a, 2010b, Begonha *et al.*, 2010,

Sousa e Begonha, 2010a, 2010b, Castro, 2010, Begonha e Novais, 2011, Bré e Begonha, 2011, Madureira e Begonha, 2011, Slezakova *et al.*, 2011, 2013, Begonha *et al.*, 2011, Begonha e Silva, 2012, Silva, 2012 e Oliveira, 2017 por exemplo, realizaram diversos estudos focados no diagnóstico do estado de conservação da pedra e/ou o tratamento da mesma em monumentos e edifícios graníticos portugueses.

1.2. DESCRIÇÃO E OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Nesta dissertação, pretende-se estudar as velocidades de secagem de diferentes argamassas em contacto com vários tipos de granitos e um calcário. Serão usados diferentes tipos de ligantes nas argamassas: cimento CEM I 42,5R, cal hidráulica HL5 e cal aérea. As argamassas a estudar serão fabricadas seguindo traços em volume ou em peso de 1:3 e 1:2,5. Será ainda estudada a argamassa pronta de cal aérea D. Fradique à qual se adicionará o aditivo pozolânico de cor branca constituído essencialmente por sílica amorfa ou o aditivo pozolânico de cor cinzenta constituído essencialmente por sílica amorfa e óxido de alumínio.

Realizar-se-ão ensaios de porosidade livre e evaporação em provetes cilíndricos das diferentes argamassas, granitos e calcário. Simultaneamente, realizar-se-ão ciclos de molhagem e secagem em provetes compostos por duas patelas de granito ou duas de calcário, e junta de argamassa, para se avaliar o fluxo de água entre os diferentes materiais e as zonas de cristalização de minerais de sais solúveis.

Paralelamente, serão executados provetes paralelepípedicos, que serão submetidos a três tipos de cura distintos: em câmara húmida, ao ar livre no telhado ou no interior do laboratório. Estes provetes serão ensaiados à flexão e à compressão. Após a realização destes ensaios, procurar-se-á averiguar as diferenças no que diz respeito à velocidade de secagem das rochas e das argamassas, bem como a possível formação de eflorescências resultantes da cristalização de minerais de sais solúveis.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA TESE

A presente dissertação é composta por seis capítulos. No primeiro capítulo, faz-se o enquadramento histórico do uso da pedra, referem-se os principais agentes agressivos a que a mesma está sujeita nas construções, as deteriorações mais importantes e apresenta-se o estado da arte no que concerne aos estudos das deteriorações da pedra.

No capítulo 2, refere-se a constituição das argamassas, propriedades dos constituintes (ligantes, agregados e água) e o seu enquadramento normativo em termos de classificação, processos de fabrico e composição.

O capítulo 3 refere-se à amostragem, incluindo os processos de fabrico das argamassas e dos provetes compostos por duas patelas de pedra unidas por junta de argamassa, bem como os ensaios de caracterização realizados nos materiais constituintes.

No capítulo 4, é apresentada uma introdução às deteriorações mais comuns encontradas em rochas em edifícios e monumentos. Com o propósito de mostrar o aumento de desagregação granular no contacto entre o granito do Porto e argamassas de cimento, realizou-se a cartografia das deteriorações nos seguintes cinco locais distintos onde foram empregues quantidades apreciáveis de argamassas de cimento nas juntas de cantaria de granito do Porto: Hospital de Santo António (fachada Este e Sul), Igreja do Carmo (fachada Este e Sul), Igreja Paroquial de São João da Foz do Douro (fachada Nordeste), Capela-Farol de São-Miguel-o-Anjo (fachada Este) e muro na Rua da Lapa do antigo Quartel General.

O capítulo quinto descreve todos os ensaios realizados, os resultados obtidos nos mesmos e a análise desses resultados.

O capítulo 6 corresponde às conclusões finais da dissertação e propostas de futuros desenvolvimentos no âmbito do tema desta dissertação.

2

ARGAMASSAS

2.1. DEFINIÇÃO DE ARGAMASSA

Petrucci (1993) descreve argamassas como materiais de construção constituídas por um ou mais ligantes, agregados miúdos e água. O mesmo autor classifica as argamassas, segundo o tipo de ligante, em três grupos:

- Aéreas, de cal aérea e gesso, que não conseguem ganhar presa debaixo de água;
- Hidráulicas, de cal hidráulica ou cimento, que ganham presa debaixo de água;
- Mistas, com um ligante aéreo e um hidráulico.

Atualmente e com o conhecimento existente, é possível o fabrico de vários tipos de argamassas, com características e composições bastante diversificadas, desde, por exemplo, argamassas com tempos de presa muito rápidos, argamassas pigmentadas para trabalhos específicos e argamassas poliméricas.

Os ligantes usualmente utilizados são o cimento e a cal, em que cada um confere diferentes propriedades às argamassas. Também a granulometria do agregado e a qualidade e quantidade de água utilizada no processo de amassadura têm um papel importante no desempenho da argamassa produzida.

A principal razão para o uso de argamassas prende-se com a obtenção de uma boa aderência entre as diferentes pedras, boas resistências mecânicas, no caso de argamassas de cimento e razoáveis propriedades isolantes. No entanto, todas as propriedades físicas e químicas são bastante condicionadas pela matéria prima utilizada, pelos processos de amassadura e de cura. Consequentemente, argamassas compostas por matérias primas mais pobres apresentam desempenhos menos satisfatórios, tanto no que diz respeito a desempenhos mecânicos bem como em questões de durabilidade.

2.2. CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS

2.2.1. CIMENTO

Neville (1995) descreve cimento como um material com capacidades adesivas e coesivas, capaz de ligar fragmentos minerais num corpo compacto. Por outro lado, a norma NP EN 197-1 (2012) descreve cimento como um material inorgânico finamente moído que, em contacto com água, ganha presa devido a reações e processos de hidratação, mantendo propriedades resistentes após o endurecimento.

2.2.1.1. Tipos de cimento

Atualmente a norma NP EN 197-1 (2012) agrupa os tipos de cimentos em 5 classes principais:

- CEM I – Cimento Portland;
- CEM II – Cimento Portland composto;
- CEM III – Cimento de alto-forno;
- CEM IV – Cimento pozolânico;
- CEM V – Cimento composto.

A diferente classificação dos vários tipos de cimento deve-se ao facto de cada um apresentar diferentes quantidades dos diversos constituintes na sua composição, como o clínquer, escória de alto forno, sílica de fumo ou pozolanas, por exemplo. O CEM I foi o tipo de cimento utilizado na constituição das argamassas alvo de ensaios na presente dissertação, sendo o que contém maior percentagem de clínquer.

2.2.1.2. Cimento Portland

De acordo com Neville (1995), o cimento Portland comum é fundamentalmente fabricado a partir de materiais calcários, como calcários argilosos e calcários comuns puros às quais é necessário acrescentar alguma quantidade de argila. Após serem reduzidas a pó, as matérias primas são expostas a temperaturas até 1450°C, o que provoca a fusão de cerca de 20% das mesmas, levando à formação de novos compostos (Sousa Coutinho, 1988). Consequentemente, a mistura e dosagem do calcário e argila, tem de ser tal que, após a perda da água e dióxido de carbono, a sua composição química se encontre dentro dos seguintes limites do Quadro 2.1 (Sousa Coutinho, 1988):

Quadro 2.1 - Limites da composição química do cimento Portland (Sousa Coutinho, 1988)

| Composto Químico | Abreviatura | Limite |
|--------------------|--------------------------------|-----------|
| Óxido de cálcio | CaO | 60% a 68% |
| Dióxido de silício | SiO ₂ | 17% a 25% |
| Óxido de alumínio | Al ₂ O ₃ | 2% a 9% |
| Óxido de ferro | Fe ₂ O ₃ | 0,5% a 6% |

2.2.1.3. Processo de fabrico do cimento Portland

O processo de fabrico do cimento inicia-se com a extração da matéria prima, geralmente blocos de calcário de grandes dimensões, que são depois britados em frações menores. Este material é, posteriormente, armazenado, podendo receber adições de argila.

Na fase seguinte de moagem e homogeneização, Neville (1995) considera que existem duas vias distintas para a produção de cimento, a via húmida e a via seca. Atualmente, a primeira alternativa, embora mais tradicional, não é muito utilizada, devido ao seu grande dispêndio de energia. O produto resultante é armazenado em silos onde lhe poderão ser adicionados outros componentes, dando assim origem ao cru.

De seguida, o cru é encaminhado até fornos rotativos onde se procede à cozedura dos mesmos. Presentemente, o forno rotativo consiste num cilindro com diâmetro máximo de 7,6 metros e

comprimento até 232 m, assente numa plataforma com inclinação entre 2 e 6%, equipada com roletes, que permite a rotação do mesmo.

Segundo Sousa Coutinho (1988), a alimentação do forno poderá proceder-se de quatro formas distintas: entrada direta de farinha, pasta de cru, farinha humedecida com água até 13% ou em pasta dissecada.

Para o aquecimento do forno recorre-se à queima de carvão ou fuel-oil, que são introduzidos na parte inferior do forno juntamente com ar. É necessária especial atenção ao combustível a que se irá recorrer, pois a sua combustão poderá alterar a composição química do cru.

Após uma subida de temperatura até à ordem dos 1450°C, acontece a formação do clínquer. Após a formação das bolas de clínquer, estas devem ser rapidamente arrefecidas devido à instabilidade do silicato tricálcico a temperaturas inferiores a 1250°C, de modo a ser possível a conservação da sua estrutura. Por outro lado, o silicato bicálcico apresenta duas formas, β e γ , onde a forma β é estável para temperaturas entre os 1200°C e 675°C. Abaixo desta temperatura, o silicato bicálcico β transforma-se em γ , forma em que é praticamente inerte, de modo que é desaconselhável a sua formação.

Para se proceder ao arrefecimento, o engenho mais utilizado é o planetário, conjunto de tubos de arrefecimento que envolvem o tambor.

Após o arrefecimento total do clínquer até temperaturas entre os 180°C e 125°C, o mesmo é armazenado até arrefecer totalmente, sendo posteriormente introduzido num moinho com esferas metálicas, onde lhe poderão ser adicionados aditivos, como gesso, para regular o tempo de presa ou modificar outras propriedades.

2.2.1.4. Composição química do clínquer de cimento Portland

Geralmente, considera-se que o clínquer Portland é composto maioritariamente por quatro constituintes principais (Neville, 1995), resultantes de reações químicas por ação da temperatura, descritos no quadro seguinte com a correspondente abreviatura:

Quadro 2.2 - Composição química do cimento Portland (Neville, 1995)

| Composto | Composição | Abreviatura | Quantidade |
|------------------------------|---|-----------------------|------------|
| Silicato Tricálcico | $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | C_3S | 20% - 65% |
| Silicato Bicálcico | $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | C_2S | 10% - 55% |
| Aluminato Tricálcico | $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ | C_3A | 0% - 15% |
| Alumino ferrato tetracálcico | $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ | C_4AF | 5% - 15% |

Sousa Coutinho (1988) divide da seguinte forma as alterações da matéria prima provocadas pelo efeito da temperatura:

- Até aos 100°C, dá-se a evaporação da água livre;
- Até aos 450°C, dá-se a saída da água adsorvida;
- Entre os 450°C e 800°C, acontece a desidratação da argila e inicia-se a formação de carbonatos e óxidos tanto de cálcio como de magnésio;
- Entre os 800°C e 900°C, inicia-se a formação do aluminato de cálcio;
- Entre os 900°C e 1100°C, forma-se o aluminato tricálcico, iniciando-se a formação do alumino ferrato tetracálcico;

- Entre os 1100°C e 1200°C, o teor de silicato bicálcico atinge o seu máximo e a maior parte de aluminato tricálcico e aluminoferrato tetracálcico encontra-se formada;
- A 1260°C, o óxido de cálcio combina-se com os óxidos de alumínio e ferro, levando à formação do silicato tricálcico a partir do silicato bicálcico.

2.2.1.5. Reações de hidratação do cimento Portland

A mistura do cimento Portland com a água desencadeia inúmeras reações químicas que levam à formação de uma mistura que, num pequeno período de tempo, adquire presa e resistências mecânicas importantes.

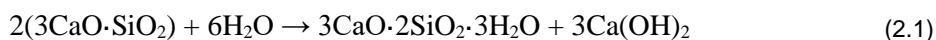
Sousa Coutinho (1988) afirma que os minerais constituintes do cimento, em contacto com água, reagem, originando novos compostos que cristalizam com hábito acicular, conferindo resistência à mistura.

Neville (1995) refere existirem duas formas de os compostos do cimento Portland reagirem com a água da mistura:

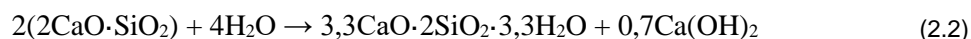
- Pela adição direta de moléculas de água;
- Hidrólise.

Logo, os compostos do cimento Portland, aquando do contacto com a água, formam novos compostos, sendo a reação de hidratação do cimento exotérmica.

O silicato tricálcico, quando combinado com água, dá origem a hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), parte do qual fica em solução e parte cristaliza, sendo esta a reação mais rápida, traduzindo-se pela Equação 2.1.



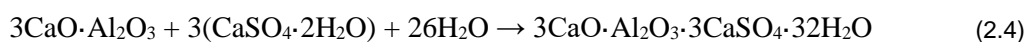
O silicato bicálcico, por sua vez, também forma hidróxido de cálcio, mas em menores quantidades, conforme a Equação 2.2.



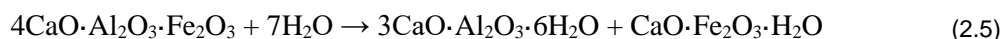
O aluminato tricálcico, se se encontrar num meio com elevadas concentrações de hidróxido de cálcio, fixa este composto, transformando-se num aluminato tetracálcico hidratado, conforme a Equação 2.3.



A reação do aluminato tricálcico na presença de água é bastante repentina e conduz a uma imediata presa da pasta de cimento. Devido ao facto desta reação não ser pretendida, poderá adicionar-se gesso à mistura o que leva a uma presa mais lenta. Logo, a combinação do gesso ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) com o aluminato tricálcico dá origem à formação de um composto insolúvel de sulfoaluminato de cálcio, designado por etringite ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ou $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$) (Neville, 1995), conforme a Equação 2.4.



O aluminoferrato tetracálcico, quando combinado com água, origina o aluminato tricálcico hidratado e ferrato monocálcico, de acordo com a Equação 2.5.



2.2.2. CAL

A cal surge como um dos mais antigos ligantes usados durante a história do Homem. A sua produção resumia-se à cozedura de rochas calcárias, que facilmente eram obtidas na natureza. Contudo, impurezas associadas às rochas calcárias, como argilas, dependendo da sua quantidade, poderão dar origem a diferentes tipos de cais, embora o processo de fabrico seja semelhante. Assim, se a quantidade de argila for superior à quantidade de carbonato de cálcio, obtém-se o calcário margoso, que mais tarde originará a cal com propriedades hidráulicas.

A norma NP EN 459-1 (2015) classifica os tipos de cal da seguinte forma:

- Cal Aérea;
- Cal Viva;
- Cal hidratada (S);
- Cal cálcica (CL);
- Cal Dolomítica (DL);
- Cal hidráulica natural (NHL);
- Cal Formulada (FL);
- Cal hidráulica (HL).

Nota ainda para o facto de a cal aérea e a cal hidráulica serem classificadas de forma diferente. Enquanto a cal aérea é classificada segundo o seu teor de óxido de cálcio e óxido de magnésio, a cal hidráulica é classificada segundo a sua resistência à compressão. O Quadro 2.3 apresenta os tipos de cal de construção segundo a norma NP EN 459-1 (2015).

Quadro 2.3 - Classificação dos tipos de cal segundo a NP EN 459-1 (2015)

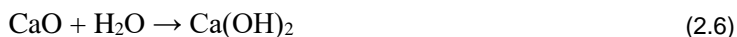
| Designação | Notação |
|------------------------|-----------------------------|
| Cal Cálcica | CL 90, 80 ou 70 |
| Cal Dolomítica | DL 90-30, 90-5, 85-30, 80-5 |
| Cal Hidráulica | HL 2, 3,5 ou 5 |
| Cal Hidráulica Natural | NHL 2, 3,5 ou 5 |
| Cal Formulada | FL A 2, 3,5 ou 5 |
| | FL B 2, 3,5 ou 5 |
| | FL C 2, 3,5 ou 5 |

2.2.2.1. Cal Aérea

Segundo Sousa Coutinho (1988), a cal aérea pode ser dividida em dois grupos principais: gordas, compostas por calcários praticamente puros, cujos teores de carbonato de cálcio (CaCO_3) não são inferiores a 99%, e magras, cujos teores de argila e impurezas estão entre 1 e 5%. Adicionalmente, a cal aérea também pode ser classificada como cálcica, quando a sua composição é maioritariamente óxido de cálcio (CaO), ou como dolomítica, quando constituída por óxido de cálcio e óxido de magnésio (MgO).

2.2.2.2. Processo de fabrico da cal aérea

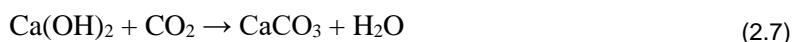
O fabrico da cal aérea consiste na cozedura das matérias primas, os calcários, originando desta forma a cal viva (CaO). Esta por sua vez terá que ser extinta, recorrendo a água, formando-se assim a cal extinta ou apagada, composta maioritariamente por hidróxido de cálcio. A Equação 2.6 traduz a reação de extinção da cal viva:



Este processo poderá ser realizado de duas formas: imersão ou aspersão. Quando se pretende a obtenção de pasta de cal, recorre-se à imersão, onde os blocos de cal viva são imersos em água em excesso, dando origem a um material muito poroso e permeável.

2.2.2.3. Hidratação da cal aérea

Devido ao facto de a quantidade de água utilizada para a imersão da cal viva ser muito elevada, o endurecimento da cal aérea processa-se em duas fases distintas: primeiro dá-se a evaporação da água em excesso, seguindo-se a recarbonatação, onde, na presença de dióxido de carbono da atmosfera, o hidróxido de cálcio é transformado em carbonato de cálcio. A equação seguinte descreve a reação descrita:



Nota ainda para o facto de esta reação ser bastante lenta e que, devido à forte retração, é indispensável a adição de areias para fabricar as argamassas.

2.2.2.4. Cal Hidráulica

Como já referido, para a produção de cal hidráulica, a rocha calcária terá que conter entre 5% a 20% de argila na sua constituição (Sousa Coutinho, 1988). O mesmo autor, citando Vicat, refere que a maior ou menor capacidade hidráulica da cal depende da proporção de argila na rocha calcária. O mesmo verificou que para quantidades acima de 20% o produto cozido já não se extinguiu devido à adição de água, denominando-o assim de cal limite, que delimita a passagem para cimentos naturais.

2.2.2.5. Obtenção da cal hidráulica

A cozedura da cal dá-se em fornos verticais com revestimento refratário e Sousa Coutinho (1988) considera que o processo de fabrico da cal hidráulica pode ser fracionado em 4 etapas distintas:

- Entre os 105°C – 110°C, dá-se a evaporação da água de embebição;
- Entre os 500°C – 700°C, dá-se a desidratação das margas;
- Entre os 850°C – 900°C, ocorre a decomposição dos calcários;
- Entre 1200°C – 1500°C, acontece a combinação da sílica e da alumina com a cal.

Após a retirada da cal do forno, verifica-se que a mesma apresenta partículas de várias dimensões distintas. Outro fator a ter em atenção segundo Sousa Coutinho (1988), é que a cal deverá ser completamente extinta, para a eliminação da cal viva, mas, mais importante, para a pulverização dos grãos. De notar, que durante este processo, a quantidade de água a utilizar deverá ser aquela que será estritamente necessária para a hidratação da cal viva. Esta é uma das grandes diferenças em comparação com o processo de fabrico do cimento Portland, pois a finura da cal hidráulica é resultado da extinção da cal viva, e não da moagem do resultado do processo de cozedura.

2.2.2.6. Reação de hidratação e ganho de presa

O processo de endurecimento da cal hidráulica pode ser explicado recorrendo a apenas duas reações:

- Hidratação dos silicatos e aluminatos de cálcio;
- Recarbonatação da cal apagada, na presença de dióxido de carbono.

2.2.3. AGREGADOS

O estudo do agregado bem como o conhecimento da sua origem, composição mineralógica e granulometria é da maior pertinência, pois cerca de três quartos do volume dos betões são os agregados.

Existem vários tipos de agregados disponíveis, podendo ter origem natural, como os godos, areias e britas, origem artificial, obtidos industrialmente, ou mesmo agregados reciclados, como por exemplo resultado de demolições. Os agregados podem ser classificados segundo a sua forma, dimensão ou massa volúmica. O Quadro 2.4 apresenta os intervalos de valores para a massa volúmica no que diz aos agregados:

Quadro 2.4 - Classificação de agregados em relação à massa volúmica (Sousa Coutinho, 1988)

| Tipo de Agregado | Massa volúmica (kg/m ³) |
|------------------|-------------------------------------|
| Agregado leve | <2000 |
| Agregado normal | 2000 a 3000 |
| Agregado pesado | >3000 |

Por outro lado, os agregados utilizados no fabrico de argamassas também podem ser classificados quanto à baridade. O Quadro 2.5 apresenta os limites para essa classificação:

Quadro 2.5 - Classificação dos agregados quanto à baridade (Sousa Coutinho, 1988)

| Classificação | Baridade (kg/m ³) |
|---------------|-------------------------------|
| Ultra leve | <300 |
| Leve | 300 a 1200 - areia |
| | 300 a 950 - agregado grosso |
| Denso | 1200 a 1700 - areia |
| | 950 a 1700 – agregado grosso |
| Extra denso | >1700 |

2.2.4. ÁGUA DE AMASSADURA

A água desempenha um papel de vital importância no processo de amassadura da argamassa, pois é devido à presença da mesma que se inicia o processo de hidratação do ligante a ser usado.

A quantidade de água a ser utilizada deverá ser a necessária para que se processe totalmente a hidratação do cimento utilizado, bem como a necessária para a obtenção da trabalhabilidade desejada. A quantificação da quantidade de água a utilizar, dependendo da granulometria do agregado da mistura, pode ser obtida recorrendo à fórmula de Bolomey. A Equação (2.8) traduz a quantidade de água a utilizar:

$$Ag = 0,23C + NM \sum \frac{p_i}{\sqrt[3]{(d_i \times d_{i+1})}} + (0,23 \text{ ou } 0,35) \times p_{<0,2\text{mm}} \times M \quad (2.8)$$

Onde:

p_i = percentagem de inerte com diâmetro $d_i < d < d_{i+1}$;

N = fator que depende do material agregado e da consistência da argamassa;

M = massa dos agregados;

C = massa do cimento;

0,23 para areias naturais;

0,35 para areias britadas.

Todavia, se a areia se encontrar definida em termos de frações fina (F), média (M) e grossa (G), a expressão de Bolomey pode ser simplificada da seguinte forma (Equação 2.9):

$$A = 0,23C + NM \left(\frac{p_M}{\sqrt[3]{0,5 \times 2}} + \frac{p_G}{\sqrt[3]{2 \times 5}} \right) + (0,23 \text{ ou } 0,35) \times p_F \times M \quad (2.9)$$

Onde:

p_F = percentagem de fração fina (partículas inferiores a 0,5mm);

p_M = percentagem de fração média (partículas compreendidas entre 0,5mm e 2mm);

p_G = percentagem de fração grossa (partículas superiores a 2mm);

N = fator que depende do material agregado e da consistência da argamassa;

M = massa dos agregados;

C = massa do cimento.

Por outro lado, a quantidade de água também pode ser obtida experimentalmente pelo método da mesa de espalhamento. Este método é regulamentado pela norma EN 1015-3 (1999) para os cimentos e pela norma NP EN 459-2 (2011) para cais. O Quadro 2.6 mostra os valores limites para o ensaio com argamassas de cal.

Quadro 2.6 - Valores para o ensaio de espalhamento (NP EN 459-2 (2011))

| Tipo de cal | Diâmetro (mm) |
|--|---------------|
| Cal hidráulica, cal dolomítica hidratada | |
| NHL, FL2 | 165 ± 3 |
| NHL 3,5; FL 3,5 | |
| NHL 5, FL 5, HL 2, HL 3,5, HL 5 | 185 ± 3 |

Naturalmente, uma errada quantificação da quantidade de água pode resultar em resultados muito pouco satisfatórios no que diz respeito à *performance* da argamassa a ser utilizada, quer na sua trabalhabilidade quer na resistência. No entanto, não é só a quantidade de água que interfere com a qualidade da argamassa, mas também a qualidade da mesma. Neville (1995) afirma que a presença de impurezas na água pode afetar negativamente o tempo de presa do cimento, bem como a diminuição das resistências e, nos casos do uso em betão armado, pode levar a uma mais rápida corrosão da armadura.

No que diz respeito às substâncias dissolvidas na água, Sousa Coutinho (1988) divide a sua ação em três categorias distintas:

- Iões que alteram as reações de hidratação do cimento;
- Iões que levam a expansões a longo prazo;
- Iões que levam à corrosão de armaduras.

Por fim, tanto Sousa Coutinho (1988) como Neville (1995) consideram que, genericamente, o uso de água potável nas amassaduras é satisfatório. Neville (1995) realça, porém, que se deve ter em consideração que, em zonas muito áridas, a água potável pode conter uma elevada concentração de cloretos.

AMOSTRAGEM E MATERIAIS UTILIZADOS

3.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização desta dissertação foram utilizados dois tipos de ligantes hidráulicos, um cimento CEM I 42,5 R fornecido pela Secil e uma cal hidráulica HL5 também fabricada pela Secil. Também foi utilizada cal aérea em pasta, produzida e fornecida pela empresa Augusto de Oliveira Ferreira & C^a, Lda. (AOF) e uma argamassa de reboco não hidrófuga fornecida pela empresa Fradical.

Os agregados utilizados foram igualmente fornecidos e recomendados pela empresa AOF, tendo-se utilizado três tipos de areias diferentes, duas areias lavadas e monitorizadas, AREIPOR AGS 1.0 – 2.0 e AREIPOR APAS 20, e uma areia de rio, não lavada, que se designou meia areia (MA). Adicionalmente e com o objetivo de comparação com o que está estabelecido normativamente, também foi utilizada areia normalizada (AN).

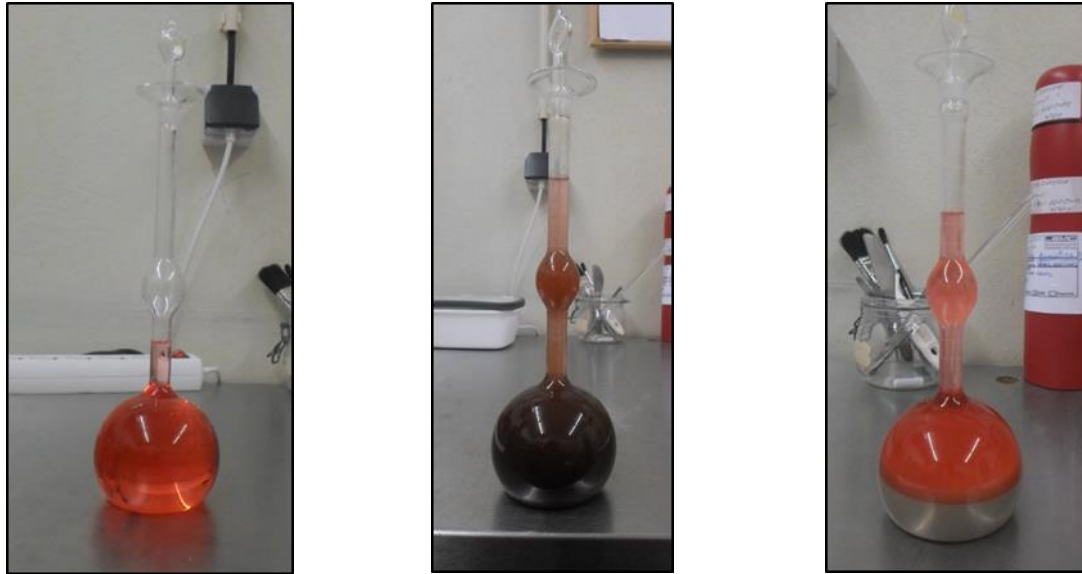
Com vista a uma melhor caracterização dos materiais utilizados, executaram-se ensaios para a determinação de massa volúmica, baridade, finura, tempo de presa, expansibilidade e caracterização geométrica dos agregados.

Salienta-se ainda o facto de que não se realizaram ensaios de caracterização da cal aérea em pasta, mas que esta, no momento da sua utilização já se encontrava submersa há cerca de 5 meses.

3.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

3.2.1. DETERMINAÇÃO DA MASSA VOLÚMICA

Para a determinação da massa volúmica dos ligantes em estudo, foram seguidos os pressupostos descritos na especificação E 64 (1979) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). O ensaio foi realizado em condições controladas quer de temperatura quer de humidade, numa sala climatizada. O ensaio consiste na introdução do material, previamente seco e pesado numa balança com precisão de 0,005g, num densímetro de Le Chatelier (Figura 3.1a). O material é introduzido com recurso a um funil de vidro para evitar perdas. O procedimento adotado foi o seguinte: primeiro encheu-se o densímetro com um líquido auxiliar, neste caso, petróleo, até um volume V_1 , compreendido entre os valores 0 e 1 da graduação (Figura 3.1a). De seguida e após ser registada a massa do material, M_1 , este foi introduzido, recorrendo-se a um funil e vareta de vidro, tendo-se especial cautela para que o material não ficasse aderente às paredes do dispositivo. Finalmente, após a deposição completa do material e retirada de possíveis bolhas de ar, foi novamente medido o volume, V_2 (Figura 3.1c).



a) Densímetro de Le Chatelier e líquido auxiliar b) Densímetro de Le Chatelier, após a inserção do material c) Densímetro de Le Chatelier após a deposição total do material

Figura 3.1 – Diferentes fases do ensaio de determinação da massa volúmica

Finalmente, recorrendo à expressão 3.1, obteve-se o valor para a massa volúmica do material em estudo.

$$\rho = \frac{M_1}{V_2 - V_1} \quad (3.1)$$

O Quadro 3.1 apresenta os valores do ensaio obtidos para os materiais testados:

Quadro 3.1 - Valores obtidos para as massas volúmicas

| Material | M_1 (g) | V_1 (cm ³) | V_2 (cm ³) | ρ (g/cm ³) |
|----------------------|-----------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Cimento CEM I 42,5 R | 65 | 0,6 | 21,5 | 3,11 |
| Cal Hidráulica HL5 | 50 | 0,4 | 19,3 | 2,65 |

3.2.2. DETERMINAÇÃO DA FINURA – MÉTODO DE BLAINE

O ensaio para a determinação da finura foi realizado segundo a norma NP EN 196-6 (2010). Utilizou-se o método de permeabilidade ao ar, método de Blaine, que determina a superfície específica em comparação com um cimento padrão.

A finura é determinada medindo o tempo que uma determinada quantidade de ar leva a atravessar uma camada de cimento compactada, de dimensões e porosidade especificadas. Normalmente, a superfície

específica do cimento é proporcional a \sqrt{t} , onde t é o tempo de escoamento da quantidade de ar pela camada.

Para a realização deste ensaio, é necessária uma célula de permeabilidade, cilíndrica, de aço inoxidável e dimensões especificadas, um disco perfurado, de material idêntico com 30 a 40 orifícios de 1mm de diâmetro e um pistão para se proceder à compactação da camada. Adicionalmente, também se utilizou um manómetro (Fig. 3.2a) em vidro de borossilicato, preenchido até à marca inferior por petróleo, um cronómetro e uma balança (Fig. 3.2b).



a) Manómetro em vidro de borossilicato



b) Balança utilizada durante o ensaio

Figura 3.2 - Equipamentos utilizados no ensaio para a determinação da finura

O procedimento adotado foi conforme o descrito na norma acima mencionada. Primeiro, procedeu-se à pesagem de uma amostra do material, de massa M_1 , que seguidamente foi agitada durante 2 minutos, seguidos de 2 minutos de repouso. De seguida formou-se uma camada compacta de cimento de porosidade $e = 0,500$. Assim, a partir da expressão 3.2 pôde-se calcular a massa de cimento necessária para a obtenção de tal camada.

$$m_1 = 0,500 \times \rho \times V \quad (3.2)$$

Onde,

m_1 = massa de cimento necessária para a formação da camada, expressa em g;

ρ = massa volúmica do cimento, expressa em g/cm^3 ;

V = volume da camada de cimento, expresso em cm^3 .

A massa do material foi introduzida na célula de permeabilidade, sendo compactada recorrendo-se ao uso do pistão. Após a formação da camada, foi introduzido o disco perfurado seguido de um filtro de papel normalizado.

A célula foi então colocada na abertura do tubo manométrico, devidamente selada com uma rolha de cortiça e vaselina nas zonas de contacto com o tubo. Seguidamente abriu-se a torneira e recorrendo à

bomba manual, levou-se o líquido até à marca, fechando-se depois a torneira e verificando se o nível do mesmo não sofreu alterações. Caso contrário, poderia ter existido algum problema, como a célula estar mal selada. Após se verificar que tudo se encontrava em condições aceitáveis, foi retirada a rolha e medido o tempo que o líquido demorou a atravessar dois níveis específicos.

Neste ensaio teve-se em atenção o ambiente onde o mesmo foi realizado, pois movimentações bruscas de massas de ar poderiam alterar e adulterar os valores.

O ensaio foi repetido duas vezes para cada amostra, tendo sido ensaiadas duas amostras de cada material. Importante também referir que este ensaio deve ser realizado em condições rigorosamente controladas de humidade e temperatura. Segundo a norma NP EN 196-6 (2010), os valores da temperatura devem estar compreendidos entre $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e a humidade relativa deverá ser sempre menor que 65%.

Obtidos os valores do tempo de escoamento para os ensaios, a partir da expressão 3.3 calcula-se a superfície específica do material.

$$S = \frac{K}{\rho} \times \frac{\sqrt{e^3}}{(1-e)} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{10 \times \eta}} \quad (3.3)$$

Onde,

S = superfície específica, expressa em cm^2/g ;

K = constante do aparelho;

t = tempo, em segundos;

ρ = massa volúmica do cimento, expressa em g/cm^3 ;

η = viscosidade do ar à temperatura da sala onde se realiza o ensaio, expressa em Pa;

e = porosidade da camada.

No entanto, para temperaturas entre o intervalo aceitável e porosidade $e = 0,500$, o método de cálculo pode ser simplificado, conforme a expressão 3.4.

$$S = \frac{52,43 \times K \times \sqrt{t}}{\rho} \quad (3.4)$$

O Quadro 3.2 apresenta os valores obtidos para o ensaio.

Os resultados obtidos consideram-se aceitáveis, não se verificando nenhuma discrepância significativa em relação ao expectável.

Quadro 3.2- Valores obtidos para ensaio segundo o método de Blaine

| Material | m ₁ (g) | ρ (g/cm ³) | K | t (s) | t (°C) | S (cm ² /g) |
|------------------------|--------------------|------------------------|-------|-------|--------|------------------------|
| Cimento CEM I 42.5R | 2,843 | 3,11 | 22,54 | 98 | 21,3 | 3742 |
| | | | | 98 | 21,4 | |
| | | | | 96 | 21,4 | |
| | | | | 96 | 21,4 | |
| Cal Hidráulica HL5 | 2,422 | 2,65 | 22,54 | 321 | 21,3 | 8005 |
| | | | | 322 | 21,4 | |
| | | | | 322 | 21,4 | |
| | | | | 324 | 21,4 | |

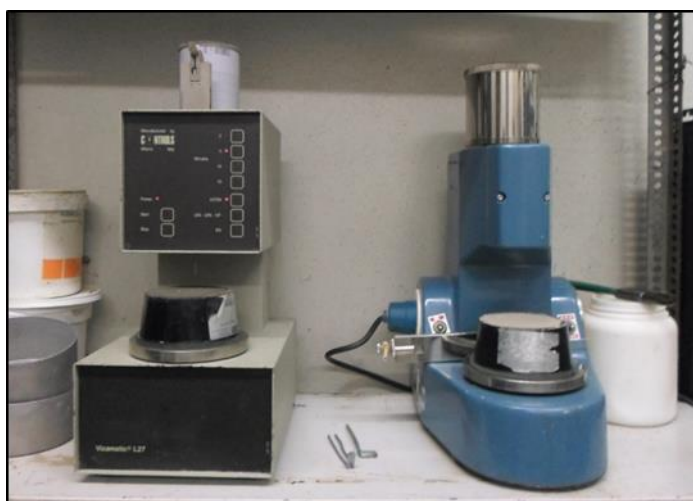
3.2.3. DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DE PRESA

O ensaio para a determinação dos tempos de presa de pastas foi realizado conforme a norma EN 196-3 (2016). A realização do ensaio pressupõe um ambiente monitorizado, com temperaturas na ordem dos 20 ± 1 °C.

O tempo de início de presa e fim de presa é executado na pasta de consistência normal, a qual tem uma resistência especificada à penetração de uma sonda normalizada com 10 mm de diâmetro num aparelho manual de Vicat (Fig.3.3a). A água necessária para uma tal pasta é determinada por ensaios de penetração em pastas que resultam da mistura de 500g de cimento ou cal hidráulica com quantidades de água diferentes. A pasta de consistência normal é aquela em que, após a penetração, a sonda fica a 6 ± 2 mm da placa de vidro.



a) Aparelho de Vicat manual usado para determinação da pasta de consistência normal



b) Aparelhos de Vicat automáticos usados para determinação dos tempos de início e fim de presa

Figura 3.3 - Aparelhos de Vicat utilizados na determinação da pasta de consistência normal e determinação dos tempos de início e fim de presa

Após o enchimento do molde de Vicat com a pasta de consistência normal, o mesmo é colocado num aparelho de Vicat automático (Fig.3.3b) que realiza perfurações distanciadas de um certo intervalo de tempo. A determinação do tempo de início de presa é o intervalo que medeia desde o instante inicial em que se misturou o ligante e a água (instante zero) e o instante em que pela primeira vez uma agulha normalizada de Vicat com 1,13 mm de diâmetro, executa uma penetração que fica à distância de 6 ± 3 mm da placa de vidro.

De forma homóloga, a determinação do tempo de fim de presa é o intervalo de tempo desde o instante zero e o instante em que uma agulha normalizada de Vicat, com 1,13 mm de diâmetro e acessório para determinação do fim de presa, penetra pela primeira vez menos de 0,5 mm.

O Quadro 3.3 mostra os valores obtidos para o ensaio descrito:

Quadro 3.3 - Valores obtidos para o ensaio da determinação do tempo de início e de fim de presa

| Material | Água de amassadura (g) | Início do ensaio | Colocação do aparelho de Vicat | Início de Presa | Intervalo de tempo (min) | Fim de presa | Intervalo de tempo (min) |
|----------------------|------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------|--------------|--------------------------|
| Cimento CEM I 42,5 R | 139 | 9:53 | 11:24 | 12:26 | 153 | 13:24 | 211 |
| Cal Hidráulica HL5 | 183 | 11:11 | 11:44 | 15:59 | 288 | 18:14 | 423 |

Paralelamente a este ensaio, determinou-se também a expansibilidade, descrito na norma EN 196-3 (2016). A metodologia adotada foi a indicada na mesma e que consiste no enchimento de um aparelho de Le Chatelier normalizado (Fig. 3.4) com a pasta de consistência normal.

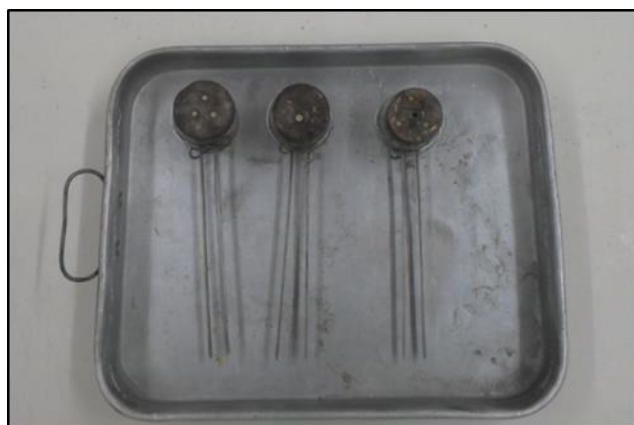


Figura 3.4 - Aparelho de Le Chatelier utilizado para determinar a expansibilidade

O molde é colocado entre duas placas de vidro e deixado em repouso durante $24 \text{ h} \pm 30'$, imerso numa tina com água. Após esse período, é medida a distância (A) entre as agulhas do aparelho de Le Chatelier. De seguida, os provetes são aquecidos durante 30 minutos até à ebulição da água e mantidos assim durante $3 \text{ h} \pm 5'$, registando-se a distância entre as agulhas (B). Por fim, após o arrefecimento dos moldes, é novamente medida a distância entre as agulhas (C). Para a validação deste ensaio é calculada a diferença entre as leituras C e A, sendo este valor comparado com o limite especificado para o cimento em estudo. O Quadro 3.4 apresenta os valores obtidos para os ensaios, bem como os limites normativos para cimentos, presentes na norma NP EN 197-1 (2012).

Quadro 3.4 - Valores obtidos para o ensaio de expansibilidade

| Material | Proвете | A (mm) | B (mm) | C (mm) | C-A (mm) | Limite (mm) |
|----------------------------|---------|--------|--------|--------|----------|-------------|
| Cimento CEM I 42,5 R | 1 | 22 | 23 | 23 | 1 | ≤ 10 |
| | 2 | 17 | 18 | 18 | 1 | |
| Cal Hidráulica HL5 | 1 | 21 | 22 | 22 | 1 | |
| | 2 | 24 | 25 | 25 | 1 | |

3.2.4. DETERMINAÇÃO DA BARIDADE

O ensaio para a determinação da baridade foi realizado segundo os pressupostos da norma NP EN 1097-3 (2002). Este ensaio foi aplicado a todos os agregados e também aos ligantes. Contudo, devido à falta de normalização para ligantes, o ensaio foi efetuado duas vezes para se assegurar um resultado fidedigno. A norma NP EN 1097-3 (2002) define baridade como o quociente entre a massa de um agregado seco e não compactado e o volume do recipiente onde este é inserido. O ensaio consiste, portanto, na colocação do agregado, previamente seco em estufa, num recipiente de volume dependente da máxima dimensão do agregado. O Quadro 3.5 apresenta os valores do volume do recipiente em função da máxima dimensão do agregado, segundo a norma NP EN 1097-3 (2002).

Quadro 3.5 - Valores do volume do recipiente em função da máxima dimensão do agregado (adaptado da NP EN 1097-3 (2002))

| Máxima dimensão do agregado (mm) | Volume do recipiente (l) |
|----------------------------------|--------------------------|
| ≤ 4 | 1 |
| ≤ 16 | 5 |
| $\leq 31,5$ | 10 |
| ≤ 63 | 20 |

A colocação do agregado no recipiente deverá ser cautelosa e, em nenhum momento, o bordo da pá deverá estar 50 mm abaixo do bordo superior do recipiente, evitando uma compactação involuntária. Tendo em conta todas as condicionantes acima descritas, utilizou-se um recipiente de 1 l e massa 2,892 kg para todos os materiais, à exceção da meia areia, em que se usou o recipiente de 5 l e massa 6,424 kg.

kg, tendo-se previamente procedido ao esquartelamento das amostras (Fig. 3.5a), para a obtenção de amostras o mais representativas possível dos diversos materiais. Por fim, e após o enchimento dos moldes, estes foram rasados (Fig. 3.5b) e pesados.



a) Amostra esquartelada



b) Molde rasado

Figura 3.5 - Fases do ensaio para a determinação da baridade

Ensaíram-se três amostras para cada material e, recorrendo à expressão 3.5, calculou-se o valor da baridade de cada material e as respectivas médias.

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (3.5)$$

Onde,

ρ_b = baridade o material, expressa em kg/l;

m_1 = massa do recipiente vazio, expressa em kg;

m_2 = massa do recipiente cheio, expressa em kg;

V = volume do recipiente, expresso em l.

Os Quadros 3.6 e 3.7 apresentam os valores obtidos para os agregados e ligantes, respetivamente.

Através da análise dos resultados obtidos, podem considerar-se os valores válidos e satisfatórios, dada a baixa dispersão dos valores. Para o caso dos ligantes e apesar de não existir nenhuma norma que regule este ensaio, os valores obtidos serão considerados válidos, justificado pelo baixo desvio padrão obtido.

Quadro 3.6 - Baridade - Valores obtidos para os agregados

| Agregado | Massa do recipiente vazio (kg) | Amostra | Massa do recipiente cheio (kg) | Baridade (kg/l) | Baridade média (kg/l) |
|--------------------------|--------------------------------------|---------|--------------------------------------|-----------------|--------------------------|
| Areia Normalizada | 2,892 | 1 | 4,4656 | 1,573 | 1,57 ± 0,01 |
| | | 2 | 4,4641 | 1,572 | |
| | | 3 | 4,4561 | 1,564 | |
| AREIPOR AGS 1.0 – 2.0 | | 1 | 4,3001 | 1,408 | 1,41 ± 0,01 |
| | | 2 | 4,3091 | 1,417 | |
| | | 3 | 4,2884 | 1,396 | |
| AREIPOR APAS20 | | 1 | 4,2671 | 1,375 | 1,37 ± 0,01 |
| | | 2 | 4,2615 | 1,369 | |
| | | 3 | 4,2722 | 1,380 | |
| Meia Areia | 6,424 | 1 | 14,657 | 1,430 | 1,43 ± 0,01 |
| | | 2 | 14,725 | 1,440 | |
| | | 3 | 14,660 | 1,430 | |

Quadro 3.7 - Baridade - Valores obtidos para os ligantes

| Ligante | Massa do recipiente vazio (kg) | Amostra | Massa do recipiente cheio (kg) | Baridade (kg/l) | Baridade média (kg/l) |
|------------------------|--------------------------------------|---------|--------------------------------------|-----------------|--------------------------|
| Cimento CEM I 42,5R | 2,892 | 1 | 3,953 | 1,061 | 1,04 ± 0,02 |
| | | 2 | 3,933 | 1,041 | |
| | | 3 | 3,940 | 1,048 | |
| | | 4 | 3,935 | 1,043 | |
| | | 5 | 3,907 | 1,015 | |
| | | 6 | 3,915 | 1,023 | |
| Cal Hidráulica HL5 | | 1 | 3,705 | 0,813 | 0,78 ± 0,02 |
| | | 2 | 3,673 | 0,781 | |
| | | 3 | 3,661 | 0,769 | |
| | | 4 | 3,657 | 0,764 | |
| | | 5 | 3,660 | 0,768 | |
| | | 6 | 3,663 | 0,771 | |

3.2.5. ENSAIO DAS PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DOS AGREGADOS – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Com o objetivo de se obter uma melhor caracterização dos agregados, realizou-se uma análise granulométrica dos mesmos. Esta análise teve como base os pressupostos na norma NP EN 933-1 (2014). Cada amostra de agregado foi seca até massa constante e, após lavagem através do peneiro de abertura 0,063 mm, o material retido no mesmo foi previamente seco até massa constante e, posteriormente, passado pela série de peneiros de abertura 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, 0,063 mm.

Após a pesagem de todas as massas retidas em cada peneiro, procedeu-se à obtenção das curvas granulométricas para cada agregado. As figuras 3.6, 3.7 e 3.8 representam as curvas granulométricas das areias AREIPOR AGS 1.0 – 2.0, AREIPOR APAS20 e meia areia, respetivamente.

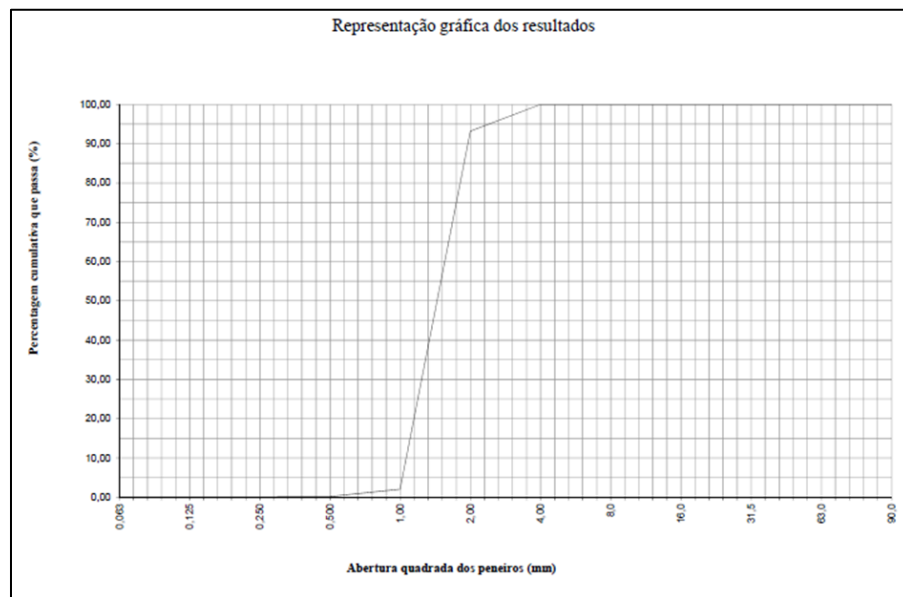


Figura 3.6 - Curva granulométrica da areia AREIPOR AGS 1.0 – 2.0

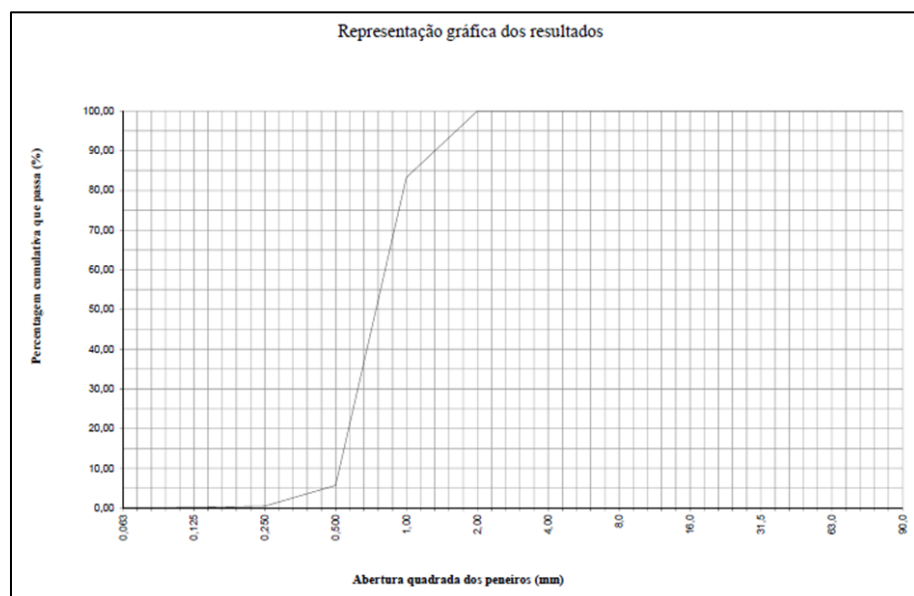


Figura 3.7 - Curva granulométrica da areia AREIPOR APAS20

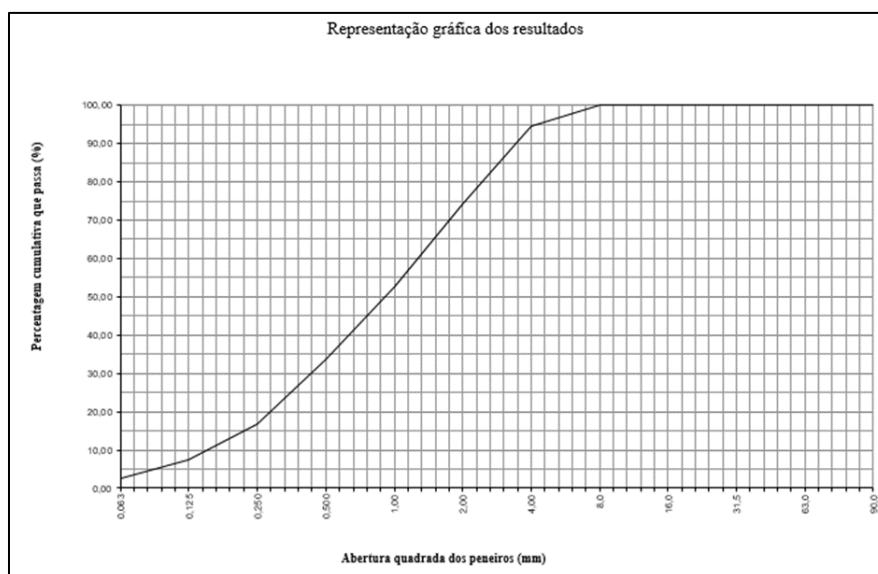


Figura 3.8 - Curva granulométrica da meia areia

Pela análise das curvas granulométricas obtidas, verifica-se que, tanto a areia AREIPOR AGS 1.0-2.0 como a areia AREIPOR APAS20, apresentam granulometrias muito monótonas e pouca extensas, observando-se desta forma a ausência de diversas frações granulométricas. Por outro lado, a meia areia apresenta uma granulometria mais extensa, não se notando grande ausência de frações granulométricas.

3.3. AMOSTRAGEM

3.3.1. PROVETES DE ARGAMASSA

Para a realização desta dissertação foram fabricados e utilizados diferentes tipos de provetes de argamassa, empregando os agregados e ligantes acima enumerados, bem como 4 tipos de traços distintos: 1:3 em peso e volume e 1:2,5 em peso e volume. O Quadro 3.8 exhibe as nomenclaturas atribuídas. De notar ainda que, em provetes cujo agregado seja a areia normalizada, é acrescida a sigla AD, caso a água de amassadura seja água destilada, ou a sigla AP, caso a água de amassadura seja potável.

Quadro 3.8 - Nomenclatura atribuída aos provetes

| Agregado \ Ligante | Cimento CEM I 42,5R | Cal Hidráulica HL5 | Aditivo Pozolânico 1 | Aditivo Pozolânico 2 | Cal Aérea |
|---------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|
| Areia Normalizada | CAN | HLAN | | | |
| AREIPOR AGS 1.0 – 2.0 | CA1 | HLA1 | | | |
| AREIPOR APAS20 | CA2 | HLA2 | | | |
| Meia Areia | CMA | HLMA | | | PASTA |
| Argamassa Pronta D. Fradique | | | APDF1 | APDF2 | |

Numa primeira fase, procedeu-se ao fabrico de prismas de dimensões 40 mm × 40 mm × 160 mm (Fig. 3.9), combinando-se todos os agregados, ligantes e traços utilizados. Estes provetes foram produzidos com o intuito de serem utilizados em ensaios de determinação das resistências mecânicas.

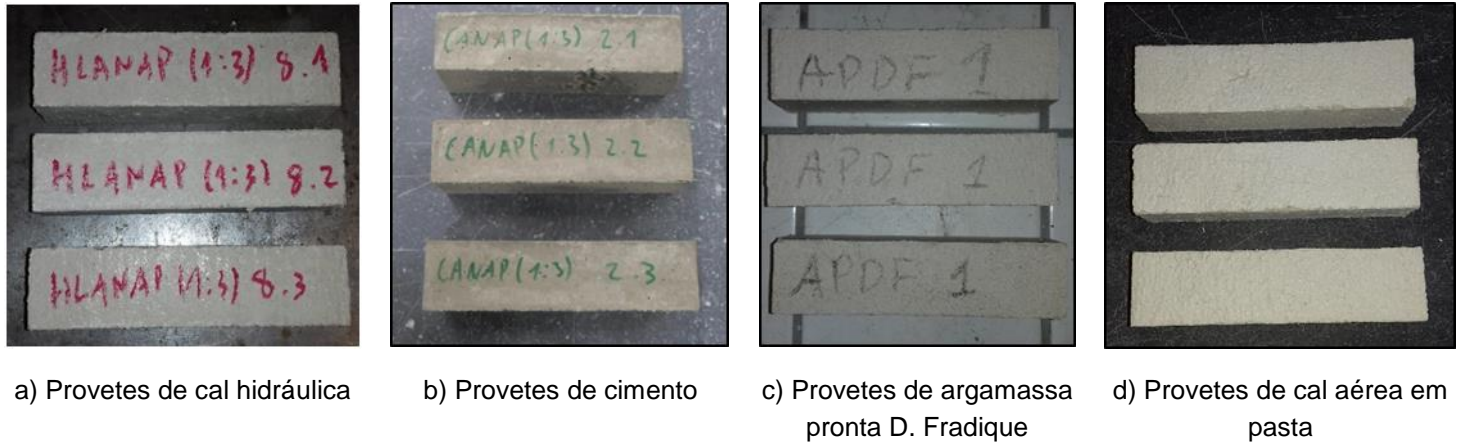


Figura 3.9 - Provetes prismáticos de 40 mm × 40 mm × 160 mm

Numa segunda fase, foram fabricados provetes cilíndricos de diâmetro aproximado de 4,5 cm e altura aproximada de 6 cm (Fig. 10), com vista a serem utilizados em ensaios de porosidade livre às 48 h e de evaporação. Estes provetes foram produzidos apenas com os traços em volume de 1:3 e 1:2,5 não se tendo empregue a areia normalizada.



Figura 3.10 - Provetes cilíndricos fabricados

3.3.3.1. Metodologia do fabrico dos provetes

O fabrico dos provetes decorreu de duas formas distintas. Primeiramente tentou-se que o processo de amassadura de todos os provetes fosse idêntico, ou seja, seguindo-se a metodologia proposta pela norma

EN 196-1 (2016) que consiste no fabrico de uma argamassa normalizada e cujo processo de amassadura está dividido nos seguintes passos:

- Colocação da água e cimento no balde da misturadora;
- Mistura durante 30 s a velocidade lenta;
- Acrescento dos agregados pausadamente durante 30 s;
- Mudança para velocidade alta da misturadora e mistura durante mais 30 s;
- Repouso durante 90 s, em que nos primeiros 30 s se raspam as paredes do balde da misturadora;
- Mistura novamente durante 60 s, a velocidade alta.

A figura 3.11 apresenta a misturadora e a argamassa usadas neste procedimento.



a) Misturadora utilizada durante o processo de amassadura



b) Fase de fabrico da argamassa na misturadora

Figura 3.11 - Equipamento utilizado no processo de amassadura

Todavia, e devido à aparente ineficácia deste método para o objetivo pretendido, este procedimento só foi utilizado para as misturas com areia normalizada e traços em peso. O Quadro 3.9 apresenta as quantidades de agregado, ligante e água.

Quadro 3.9 - Quantidades utilizadas no fabrico dos provetes, para traço em peso

| Proвете | Ligante (g) | Agregado (g) | Água (g) |
|----------------|-------------|--------------|----------|
| HLANAD (1:3) | | 1350 | |
| HLANAP (1:3) | | | |
| HLANAP (1:2,5) | | 1125 | |
| CANAD (1:3) | 450 | 1350 | 225 |
| CANAP (1:3) | | | |
| CANAP (1:2,5) | | 1125 | |

No entanto e devido à utilização de traços em volume, foi necessário o cálculo da quantidade em peso de água. O primeiro método adotado foi o da mesa de espalhamento (Fig.3.12a), descrito pela norma

EN 1015-3 (1999) para argamassas de cimento e NP EN 459-2 (2011) para argamassas de cal hidráulica. A medição da trabalhabilidade é feita pelo cálculo da média de dois diâmetros perpendiculares (Fig. 3.12b) após a amostra de argamassa ter sido submetida na mesa de espalhamento a quinze pancadas, espaçadas de um segundo. Uma vez determinado esse diâmetro, conhece-se a quantidade de água a utilizar para a trabalhabilidade (espalhamento) de referência.



a) Mesa de espalhamento utilizada nos ensaios



b) Amostra a ser medida após o ensaio



c) Amostra após o ensaio e medição



d) Episódio de exsudação verificada

Figura 3.12 - Ensaio com a mesa de espalhamento

Para as argamassas de cal hidráulica, o diâmetro médio de referência evidenciado na NP EN 459-2 (2011) é de 185 ± 3 mm. é obtido por tentativas empregando quantidades diferentes de água.

Para as argamassas de cimento, os diâmetros médios de referência foram os obtidos para as argamassas com as seguintes constituições:

- 209 ± 10 mm para argamassa constituída por 450 g de cimento, 1350 g de areia normalizada e 225 g de água EN 196-1 (2016);
- 156 ± 10 mm para argamassa constituída por 450 g de cimento, 1350 g de areia AREIPOR AGS 1.0-2.0 e 225 g de água;

- 119 ± 10 mm para argamassa constituída por 450 g de cimento, 1350 g de areia AREIPOR APAS20 e 225 g de água.

Porém, devido à pouca extensão da granulometria das areias AREIPOR AGS 1.0 – 2.0 e AREIPOR APAS20, como se pode verificar pelas curvas granulométricas apresentadas (Figs. 3.7 e 3.8), a trabalhabilidade obtida não correspondeu à pretendida. Aumentando o teor em água, o diâmetro de espalhamento mantinha-se (Fig. 3.12c), dando origem a episódios significativos de exsudação (Fig. 3.12d). Os resultados foram consequentemente pouco satisfatórios.

Foi assim necessário encontrar uma nova metodologia de amassadura. Após consulta com a empresa AOF, especialista na área da reabilitação, conservação e restauro, foi possível adotar-se uma metodologia artesanal usada pelo Senhor Carlos Barbosa, mestre artista em rebocos e estuques da referida empresa. O critério do diâmetro de espalhamento foi, portanto, descartado, pelo que o principal critério passou a ser a trabalhabilidade, que é requerida nas intervenções em trabalhos de conservação e restauro. Esta metodologia artesanal adotada, usando traços em volume de 1:3 e 1:2,5, poderá ser dividida nas seguintes etapas:

- Colocação dos agregados e ligante no recipiente num aglomerado com a forma de um “vulcão” (Fig. 3.13a);
- Mistura, a seco, desses constituintes (Fig. 3.13b);
- Abertura de uma pequena cavidade no centro e colocação de água (Fig. 3.13c);
- Posterior mistura dos constituintes (Fig. 3.13d);
- Adição de água e consequentes misturas até à obtenção da trabalhabilidade desejada (Fig. 3.13e)



a) Colocação dos agregados e ligante no recipiente num aglomerado



b) Mistura, a seco, desses constituintes



c) Abertura de uma pequena cavidade no centro e colocação de água



d) Consequente mistura dos constituintes



e) Adição de água e consequentes misturas até à obtenção da trabalhabilidade desejada

Figura 3.13 - Diferentes etapas do processo de amassadura artesanal executada pelo Senhor Carlos Barbosa

O Quadro 3.10 apresenta as quantidades em peso de ligante, agregado e água, bem como a razão água/cimento (A/C) nas amassaduras fabricadas pelo processo artesanal.

Quadro 3.10 - Quantidades em peso utilizadas no fabrico dos provetes pelo processo artesanal

| Proвете (Traço em volume) | Ligante (g) | Agregado (g) | Água (g) | A/C |
|---------------------------|-------------|--------------|----------|------|
| CANAP (1:3) | 307,2 | 1350,0 | 167,9 | 0,55 |
| CANAP (1:2,5) | 368,6 | 1350,0 | 201,5 | 0,55 |
| CA1 (1:3) | 382,1 | 1675,2 | 187,9 | 0,49 |
| CA2 (1:2,5) | 360,8 | 1337,5 | 189,0 | 0,52 |
| CMA (1:3) | 364,0 | 1373,7 | 270,2 | 0,74 |
| HLANAP (1:3) | 237,0 | 1350,0 | 203,2 | 0,86 |
| HLANAP (1:2,5) | 308,5 | 1350,0 | 231,1 | 0,75 |
| HLA1 (1:3) | 325,2 | 1687,9 | 209,1 | 0,64 |
| HLA2 (1:2,5) | 328,6 | 1385,5 | 194,6 | 0,59 |
| HLMA (1:3) | 587,6 | 2413,2 | 515,1 | 0,88 |

As razões A/C são maiores para as argamassas de cal do que para as argamassas de cimento. Tendo como valor de referência a razão A/C de 0,5, proposta pelas normas NP EN 459-2 (2011) e EN 196-1 (2016) para o fabrico de provetes de argamassas normalizadas de cal hidráulica HL5 e cimento, constata-se igualmente que todas as amassaduras (à exceção de CA1 (1:3)) realizadas segundo este procedimento ultrapassam esse valor. De realçar o facto de nas amassaduras onde se utilizou meia areia, se registarem valores máximos para a razão A/C, tanto no caso do cimento como na cal hidráulica (0,74 para CMA (1:3) e 0,88 para HLMA (1:3)).

Por fim, foram fabricados provetes de uma argamassa pronta, da marca D. Fradique. Neste caso, as proporções foram fornecidas pelo fabricante, que aconselhou as seguintes quantidades:

- Entre 10 a 15% em volume de água;
- 10% em volume de aditivo pozolânico.

Uma vez mais, o principal critério de satisfação foi a trabalhabilidade do produto final. O Quadro 3.11 apresenta as quantidades e proporções utilizadas:

Quadro 3.11 - Quantidades obtidas e proporções utilizadas no fabrico de provetes de argamassa pronta

| Proвете | Ligante | | Aditivo Pozolânico | | % Volume de aditivo pozolânico | Água (g) | | % Volume de água |
|---------|---------|--------|--------------------|-------|--------------------------------|----------|-------|------------------|
| | V (ml) | P (g) | V (ml) | P (g) | | V (ml) | P (g) | |
| APDF1 | 1500 | 1734,9 | 150 | 88,9 | 10 % | 163 | 161,4 | 10,9 % |
| APDF2 | 1500 | 1741,2 | 150 | 120,7 | 10 % | 142 | 140,1 | 9,5 % |

Importante realçar que todos os provetes foram compactados, adotando-se dois processos distintos: compactador, nos provetes paralelepípedicos para as resistências mecânicas, e mesa vibratória nos provetes cilíndricos.

3.3.3.2. Comparação entre os traços obtidos

A utilização de traços em volume implicou a determinação precisa da quantidade de água a ser utilizada. Recorrendo aos valores das baridades, obtidos experimentalmente, determinou-se o traço em peso teórico a partir dos traços em volume (equação 3.6), assim como o traço em peso real usado no método artesanal adotado.

$$Tp = Tv \times \frac{\rho_m}{\rho_c} \quad (3.6)$$

Onde,

ρ_c – baridade do ligante;

ρ_m – baridade do agregado;

O Quadro 3.12 sumariza os valores dos traços em peso teórico e o traço em peso calculado pelo método artesanal. Constata-se que, no caso dos cimentos, a diferença não é muito relevante, mas que, para a cal hidráulica, a diferença é mais acentuada.

Quadro 3.12 - Comparação entre os traços em peso obtidos

| Amostra | Traço em volume | Traço em peso teórico | Traço em peso pelo método artesanal |
|---------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------|
| CANAP | 1:2,5 | 1:3,77 | 1:3,66 |
| CANAP | 1:3 | 1:4,53 | 1:4,39 |
| CA1 | 1:3 | 1:4,07 | 1:4,38 |
| CA2 | 1:2,5 | 1:3,29 | 1:3,71 |
| CMA | 1:3 | 1:4,13 | 1:3,77 |
| HLANAP | 1:2,5 | 1:5,03 | 1:4,38 |
| HLANAP | 1:3 | 1:6,04 | 1:5,70 |
| HLA1 | 1:3 | 1:5,42 | 1:5,19 |
| HLA2 | 1:2,5 | 1:4,39 | 1:4,22 |
| HLMA | 1:3 | 1:5,50 | 1:4,11 |

3.3.3.3. Comparação dos valores para o diâmetro de espalhamento

O Quadro 3.13 mostra as quantidades em peso de ligante, agregado e água e as razões A/C determinadas a partir do traço em peso teórico (expressão 3.6), assim como os valores dos diâmetros de espalhamento obtidos através do método da mesa de espalhamento para traços em volume de 1:3 e 1:2,5 e os valores dos diâmetros de espalhamento de referência mencionados anteriormente no ponto 3.3.3.1.

Quadro 3.13 - Valores de A/C e diâmetro de espalhamento obtidos a partir das quantidades em peso de ligante, agregado e água calculadas teoricamente pelos traços em volume.

| Amostra (Traço em volume) | Ligante (g) | Agregado (g) | Água (g) | A/C | Valor do diâmetro (mm) | Valores de referência (mm) |
|---------------------------|-------------|--------------|----------|------|------------------------|----------------------------|
| CANAP (1:3) | 298 | 1350 | 213 | 0,71 | 202 | 209 ± 10 |
| CANAP (1:2,5) | 358 | 1350 | 220 | 0,61 | 211,25 | |
| CA1 (1:3) | 331,7 | 1350 | 190 | 0,57 | 158,75 | 156 ± 10 |
| CA2 (1:2,5) | 410,3 | 1350 | 222 | 0,54 | 121,25 | 119 ± 10 |
| HLANAP (1:3) | 223,5 | 1350 | 225 | 1,01 | 185,25 | 185 ± 3 |
| HLANAP (1:2,5) | 268,4 | 1350 | 230 | 0,86 | 185,75 | |

O Quadro 3.13 evidencia que para se obter diâmetros de espalhamento condizentes com os valores de referência admitidos, seria necessário o fabrico de argamassas com razões A/C mais elevadas e, em alguns casos, completamente inapropriadas. Aliado ao facto de se verificaram episódios significativos de exsudação, também um sinal claro do excesso de água da amassadura, este método foi, como referido, descartado. Com efeito, na amostra de argamassa de cimento CANAP (1:3) a razão A/C é excessiva (A/C = 0,71), sendo ainda superior nas argamassas de cal hidráulica HLANAP (1:3) (A/C = 1,01) e HLANAP (1:2,5) (A/C = 0,86).

Tendo-se adotado o método artesanal de amassadura do Senhor Carlos Barbosa , que explicou ser a metodologia utilizada na prática, em obra, determinaram-se os diâmetros de espalhamento com as composições obtidas (Quadro 3.14).

Quadro 3.14 - Diâmetros de espalhamento obtidos para as argamassas realizadas pelo método artesanal

| Provete (Traço em volume) | A/C | Diâmetro de espalhamento (mm) |
|---------------------------|------|-------------------------------|
| CANAP (1:3) | 0,55 | 147,00 |
| CANAP (1:2,5) | 0,55 | 154,25 |
| CA1 (1:3) | 0,49 | 153,00 |
| CA2 (1:2,5) | 0,52 | 114,50 |
| CMA (1:3) | 0,74 | 140,50 |
| HLANAP (1:3) | 0,86 | 126,25 |
| HLANAP (1:2,5) | 0,75 | 153,00 |
| HLA1 (1:3) | 0,64 | 153,25 |
| HLA2 (1:2,5) | 0,59 | 133,50 |
| HLMA (1:3) | 0,88 | 136,00 |
| PASTA (1:3) | | 158,50 |

Através da análise dos Quadros 3.13 e 3.14, verifica-se que quando se adota o procedimento artesanal de amassadura, há uma diminuição generalizada do valor médio do diâmetro de espalhamento. Comparando com os diâmetros de referência, constata-se que estes apenas são cumpridos para dois casos: CA1 (1:3) e CA2 (1:2,5). Os maiores desvios registaram-se em CANAP (1:3) e CANAP (1:2,5).

Todavia e apesar de existir alguma disparidade nos resultados, os valores obtidos resultam do ensaio em argamassas cuja trabalhabilidade foi recomendada como apropriada para trabalhos de intervenções em pedra pelo Senhor Carlos Barbosa da AOF.

3.3.2. PROVETES DE CALCÁRIO

Os provetes de calcário foram obtidos a partir de carotes extraídas de uma pedra (Fig. 3.14a) que se encontrava nas imediações do Santuário do Senhor Jesus da Pedra, em Óbidos, Leiria, Portugal, tendo sido fornecida pelo Senhor Engenheiro Filipe Ferreira da AOF. Trata-se do mesmo tipo de calcário empregue no referido monumento, apresentando-se pouco meteorizado e em razoável estado de conservação. As carotes foram extraídas recorrendo-se a uma carotadora mecânica Hilti DD 160E do Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção (LEMC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) (Fig. 3.14b), através de coroas diamantadas com diâmetros interno e externo respetivamente de 4,8 cm e 5,7 cm.



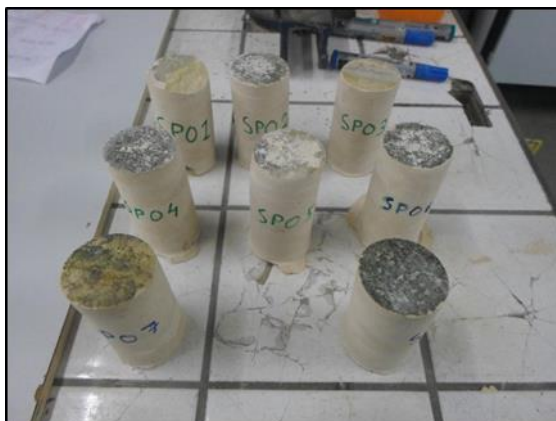
a) Pedra de calcário caroteada



b) Carotadora Hilti DD 160E durante a extração das carotes

Figura 3.14 - Extração de carotes em pedra calcária

Extraíram-se 15 carotes, 12 cortadas e retificadas de modo a obter 12 provetes cilíndricos com cerca de 6 cm de altura (Fig. 3.15) a utilizar em ensaios de porosidade livre às 48h e evaporação, e as restantes 3 carotes cortadas em patelas de pequena espessura para a realização do ensaio de ciclos de molhagem/secagem.



a) Carotes antes da retificação



b) Provete após a retificação

Figura 3.15 - Carotes e provetes de calcário

O Quadro 3.15 apresenta os valores médios para a altura e diâmetro dos provetes cilíndricos obtidos após retificação e das 8 patelas.

Quadro 3.15 - Dimensão dos provetes cilíndricos de calcário

| Carote | Provete cilíndrico | Diâmetro (cm) | Altura (cm) | Patelas |
|--------|--------------------|---------------|-------------|------------------------|
| SPO1 | | | | SPO1.1, SPO1.2, SPO1.3 |
| SPO2 | | | | SPO2.1, SPO2.2, SPO2.3 |
| SPO3 | SPO3 | 4,870 | 5,943 | |
| SPO4 | SPO4 | 4,895 | 6,000 | |
| SPO5 | SPO5 | 4,870 | 5,977 | |
| SPO6 | SPO6 | 4,898 | 6,000 | |
| SPO7 | SPO7 | 4,901 | 5,980 | |
| SPO8 | SPO8 | 4,901 | 6,025 | |
| SPO9 | SPO9 | 4,883 | 6,015 | |
| SPO10 | | | | SPO10.1, SPO10.2 |
| SPO11 | SPO11 | 4,900 | 6,038 | |
| SPO12 | SPO12 | 4,909 | 5,996 | |
| SPO13 | SPO13 | 4,917 | 6,043 | |
| SPO14 | SPO14 | 4,901 | 5,992 | |
| SPO15 | SPO15 | 4,905 | 6,054 | |

3.3.3. PROVETES DE GRANITO

Os 24 provetes cilíndricos e as 28 patelas de granito utilizados nesta dissertação têm diversas origens, tipos e estados de meteorização/ deterioração. Tal como os provetes de calcário, os provetes cilíndricos de granito foram utilizados em ensaios de porosidade livre às 48h e evaporação e as patelas em ensaios de secagem/ molhagem. O Quadro 3.16 resume as siglas dadas aos provetes cilíndricos e patelas e o monumento de onde foram recolhidos.

Quadro 3.16 - Provetes cilíndricos e patelas de granito – Siglas e monumentos de origem

| Sigla | Monumento | Cidade | Provetes utilizados | Patelas utilizadas |
|-------|--|---------------------|--|--|
| H | Hospital de Santo António | Porto | H47, H49, H54, H55, H144, H145 | H48.1, H48.2, H143.1, H144.1, H145.1, H147.1, H147.2, H149.1, H150.1, H150.2, H151.1, H151.2, H152.1, H153.1, H153.2, H154.1 |
| HMV | Hospital da Santa Casa da Misericórdia | Viana do Castelo | HMV58.2, HMV58.3, HMV59.1, HMV59.3 | HMV58.1.1, HMV58.1.2 |
| ISC | Igreja de Santa Clara | Vila do Conde | ISC2.1, ISC2.2, ISC3.3, ISC4.4, ISC5.1, ISC5.2 | |
| MSM | Mosteiro de S. Miguel de Refojos | Cabeceiras de Basto | MSM4.2, MSM4.3, MSM6.1, MSM6.2 | MSM3.1, MSM4.1.1, MSM4.1.2, MSM7.2.1, MSM7.2.2, MSM7.3, MSM7.3.1, MSM7.3.2 |
| MLB | Igreja de Santa Maria de Leça | Leça do Balio | MLB4, MLB5, MLB7, MLB10 | MLB3.1, MLB4.1, MLB11.1, MLB11.2 |
| SGA | Igreja do Convento de S. Gonçalo | Amarante | | SGA01.1, SGA01.2, SGA02.1, SGA02.2, SGA03.1, SGA03.2 |

Os provetes cilíndricos e/ou patelas do Hospital de Santo António do Porto, Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Viana do Castelo, Igreja de Santa Clara de Vila do Conde, Mosteiro de S. Miguel de Refojos em Cabeceiras de Basto, Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio e Igreja do Convento de S. Gonçalo de Amarante foram estudados respetivamente por Begonha (2001), Silva (2012), Costa Leite (2008), Begonha (2000), Moutinho (2005) e Begonha (2004b).

O Quadro 3.17 mostra os valores médios do diâmetro e altura dos provetes cilíndricos de granito.

Quadro 3.17 - Dimensão dos provetes cilíndricos de granito

| Provete | Diâmetro (cm) | Altura (cm) | Provete | Diâmetro (cm) | Altura (cm) |
|---------|---------------|-------------|---------|---------------|-------------|
| H47 | 3,949 | 5,696 | ISC3.3 | 4,526 | 5,837 |
| H49 | 3,962 | 5,711 | ISC4.4 | 4,500 | 5,670 |
| H54 | 3,960 | 5,720 | ISC5.1 | 4,525 | 5,802 |
| H55 | 3,950 | 5,945 | ISC5.2 | 4,515 | 5,936 |
| H144 | 4,005 | 5,862 | MSM4.2 | 4,463 | 5,928 |
| H145 | 4,003 | 5,906 | MSM4.3 | 4,471 | 5,826 |
| HMV58.2 | 4,529 | 5,663 | MSM6.1 | 4,464 | 6,034 |
| HMV58.3 | 4,528 | 5,676 | MSM6.2 | 4,465 | 5,945 |
| HMV59.1 | 4,530 | 5,640 | MLB4 | 4,576 | 5,951 |
| HMV59.3 | 4,529 | 5,644 | MLB5 | 4,577 | 5,762 |
| ISC2.1 | 4,542 | 5,915 | MLB7 | 4,578 | 6,238 |
| ISC2.2 | 4,540 | 5,868 | MLB10 | 4,575 | 5,972 |

PATOLOGIA DA PEDRA – CASOS DE ESTUDO

4.1. PATOLOGIAS DA PEDRA

A conservação e manutenção de edifícios históricos é um tema há muito debatido e estudado por diversos autores. O efeito das ações climáticas bem como das ações do Homem ao longo do tempo provocam efeitos nocivos no estado de conservação das rochas, originando problemas que em muitos casos são facilmente detetados, mas cujas causas e resoluções não se aparentam tão óbvias.

Ao longo do tempo, vários autores dedicaram-se ao estudo das origens e propostas de tratamento para estes problemas. Begonha (1997, 2001), aquando do estudo do Hospital de Santo António, no Porto, identificou as seguintes e mais comuns deteriorações:

- Desagregação granular;
- Placas;
- Plaquetas;
- Crostas Negras;
- Filmes Negros;
- Eflorescências;
- Fissuração;
- Colonização biológica;

Apesar de a desagregação, placas, plaquetas e eflorescências exibirem aspetos bastantes distintos, podem ter uma génese semelhante. Os minerais de sais solúveis, apresentam-se como um dos principais responsáveis pela formação de parte destas degradações. A sua origem nos edifícios é bastante variada, podendo penetrar devido à água freática, chuva, proximidade do mar, atividade humana e animal e, ultimamente, pela errada aplicação de argamassas à base de cimento ou de produtos de conservação e restauro.

Referir-se-ão em seguida as deteriorações que foram identificadas e cartografadas no ponto 4.3.

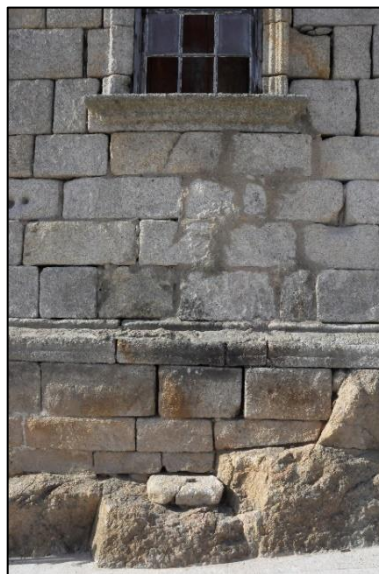
4.1.1. DESAGREGAÇÃO GRANULAR

A desagregação granular ou desagregação arenosa, pode ser caracterizada como o aumento da rugosidade superficial das superfícies da pedra, levando à perda material pétreo, arredondamento de arestas e perda de pormenor nas pedras (Begonha, 1997, 2001) (Figuras 4.1a a 4.1d). A perda de material

é maior nas zonas em contacto ou próximas de juntas onde se aplicaram argamassas de cimento designando-se, neste caso, por desagregação granular diferencial (Figuras 4.1e e 4.1f).



a) Hospital de Santo António – Fachada Este



b) Capela-farol de São Miguel-o-Anjo



c) Hospital de Santo António – Fachada Este



d) Hospital de Santo António – Fachada Este



e) Hospital de Santo António – Fachada Sul



f) Hospital de Santo António – Fachada Este

Figura 4.1 – Aspetos de desagregação granular de intensidade forte a intermédia em edifícios no Porto

As causas do aparecimento deste tipo de deterioração prendem-se maioritariamente pela presença de minerais de sais solúveis no interior da rede porosa das pedras que, após vários ciclos de cristalização/dissolução e/ou cristalização/deliquescência e/ou hidratação/desidratação, geram sucessivamente forças internas de tração que levam à fissuração dos minerais constituintes das rochas.

Todavia, a perigosidade dos minerais de sais solúveis não é igual, pelo que o efeito da sua ação está bastante dependente da sua solubilidade e força de cristalização associada ao respetivo volume molar.

A cristalização de um determinado sal depende da temperatura e do grau de sobressaturação da solução onde este se encontra. Para uma determinada temperatura e grau de sobressaturação, os sais com menores volumes molares são aqueles que apresentam maiores forças de cristalização. O Quadro 4.1 apresenta os valores dos volumes molares para os sais mais frequentemente encontrados nas edificações de pedra afetadas por desagregação granular.

Quadro 4.1 – Minerais mais frequentemente encontrados em edificações e o seu respetivo volume molar (Begonha, 2018)

| Mineral | Volume Molar (cm ³ /mol) |
|------------|-------------------------------------|
| Halite | 27,06 |
| Calcite | 36,80 |
| Nitratite | 37,11 |
| Anidrite | 46,31 |
| Niter | 47,69 |
| Thenardite | 53,00 |
| Gesso | 74,21 |
| Glauberite | 100,06 |
| Aptitalite | 125,44 |
| Singenite | 126,32 |
| Epsomite | 140,82 |
| Mirabilite | 217,70 |
| Etringite | 705,12 |

Scherer (2000) refere que a tensão máxima que a cristalização de um sal solúvel pode exercer está relacionada com a sobressaturação do líquido que preenche o poro, enquanto os limites inferiores de tensão estão relacionados com as energias na interface cristal/ parede do poro, o tamanho do poro e a pressão do líquido.

Contudo, a classificação da ação do sal solúvel em termos de danos potenciais terá que ter em atenção os dois fatores acima mencionados, a solubilidade e a força de cristalização. A solubilidade de um determinado mineral de sal solúvel depende da temperatura e da pressão e condiciona a maior ou menor facilidade com que o sal cristaliza. O Quadro 4.2 apresenta as solubilidades de alguns sais de minerais solúveis por 1000g de água a 20°C.

Quadro 4.2 – Solubilidade dos minerais de sais solúveis mais frequentes (Begonha, 2018)

| Mineral | Solubilidade (g de sal / 1000g de água) |
|------------|---|
| Nitratite | 876 |
| Halite | 360 |
| Niter | 330 |
| Thenardite | 195 |
| Gesso | 2,55 |
| Calcite | 0,06 |

Pela análise destes quadros poder-se-ia considerar que a calcite (CaCO_3), devido ao seu elevado volume molar, poderia ser considerada como um mineral potencialmente muito prejudicial, no entanto, devido à sua baixa solubilidade, uma vez cristalizada, muito dificilmente volta a dissolver-se.

Recentemente, vários autores, aquando do estudo de vários monumentos em todo o mundo, associaram o aparecimento destas patologias com a presença de muitos dos sais acima mencionados.

Moutinho (2005) e Madureira (2008) aquando, respetivamente, do estudo da Igreja de Santa Maria de Leça e do Mosteiro da Serra do Pilar, verificaram que o aparecimento de zonas com desagregação granular estava restringido a áreas húmida e não lixiviadas sujeitas a ascensão capilar, áreas húmidas sob cornijas, zonas adjacentes a juntas de argamassas de cimento e zonas expostas a ventos de Sudoeste e Sul.

Diversos autores referem os minerais de sais solúveis identificados em amostras de desagregação granular localizadas em áreas exteriores ou interiores submetidas à ascensão de soluções salinas a partir do solo.

Begonha (1997, 2001) identificou o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), halite (NaCl) e por vezes a nitratite (NaNO_3) em amostras de desagregação granular nas fachadas Este e Sul do Hospital de Santo António, no Porto, sujeitas à ascensão capilar de soluções salinas a partir do solo. Sob as mesmas condições, o autor refere a presença de gesso e halite em amostras da Torre dos Clérigos e Igreja do Carmo.

Begonha (2000) identificou, no Mosteiro de São Miguel de Refojos em Cabeceiras de Basto, a halite e ainda o niter (KNO_3), gesso e a nitratite em amostras das fachadas Oeste e Sul, o niter e o gesso em amostras do interior da igreja e da sacristia e o gesso, halite, nitratite e glauberite ($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) no interior do zimbório.

Na Igreja de São Pedro de Rates, Begonha (2002c) observou a halite, gesso e niter no Portal Oeste, gesso, halite e nitratite no Portal Sul, halite e gesso no Portal Norte e gesso no interior da igreja.

Moutinho (2005) observou, em zonas submetidas à ascensão capilar de soluções salinas a partir do solo, a halite e o gesso em amostras do Portal Sul da Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio e o gesso, halite, nitratite, singenite ($\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e glauberite em amostras da parede interior Sul do mesmo monumento.

Cardoso (2008) após recurso a microscopia eletrónica de varrimento observou a halite, gesso e nitratite em amostras do Portal Oeste da Igreja de Paço de Sousa, e nitratite, niter, trona ($\text{Na}_3(\text{CO}_3) \cdot (\text{HCO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), gesso, gaylussite ($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) e halite em amostras da Parede Norte da Capela-mor.

Costa Leite (2008) identificou a halite em amostras do Portal Norte da Igreja de Santa Clara em Vila do Conde e o gesso, halite e a nitratite em amostras do interior da igreja.

Silva (2012), em amostras de desagregação granular recolhidas no Hospital da Santa Casa da Misericórdia em Viana do Castelo, observou, com recurso ao MEV, a halite, gesso, nitratite e oxalato de cálcio (CaC_2O_4).

Todavia, a desagregação granular também se encontra fortemente associada à presença de sais marinhos, resultado da proximidade de zonas costeiras, tal como Bré (2008) verificou aquando do estudo da Capela do Senhor da Pedra. A autora refere que uma das principais causas para este tipo de deterioração deve-se ao embate de gotículas de água do mar, altamente salinas, nevoeiro salino e elevada humidade do local. Após a realização de análises recorrendo à difração dos raios-X (DRX) e microscopia eletrónica de varrimento (MEV), foram identificados a halite e gesso em amostras no exterior do monumento.

Hoje em dia já existem técnicas *in-situ* e não destrutivas que avaliam e/ou “quantificam” a intensidade da desagregação granular, como a avaliação sensorial, a técnica da fita adesiva e a utilização do ressalto do esclerómetro de Schmidt.

A avaliação sensorial inclui a quantidade de material que cai pelo toque das superfícies com a mão, a observação da rugosidade da superfície, do adoçamento das formas e da perda de material pétreo ocorrido até então permitem a atribuição qualitativa da intensidade da desagregação granular em três graus: nula ou fraca, intermédia e forte.

A técnica da fita adesiva consiste na colagem de uma medida de fita cola normalizada que depois de levantada permite determinar a massa de material pétreo retirado e assim avaliar a intensidade de desagregação granular.

O valor do ressalto do esclerómetro de Schmidt correlaciona a dureza superficial da pedra com a sua resistência à compressão. Consiste na produção de uma reação elástica pelo impulso de uma massa conhecida, que choca contra o material, sobre uma superfície de contacto. Assim, é possível medir a quantidade de energia recuperada no ressalto da massa, o que permite obter um índice de dureza da superfície ensaiada (valor do ressalto designado por R) sobre uma escala graduada acoplada ao martelo.

Madureira (2008) estabeleceu uma relação entre o valor do ressalto pelo esclerómetro de Schmidt e a intensidade da desagregação granular (Quadro 4.3).

Quadro 4.3 – Relação entre a intensidade de desagregação granular e a resistência à compressão uniaxial pelo ensaio do esclerómetro de Schmidt (Madureira, 2008)

| Intensidade da Desagregação | Resistência à compressão uniaxial (MPa) |
|-----------------------------|---|
| Forte | 0 - 25 |
| Média | 25 - 90 |
| Fraca | > 90 |

A atribuição quantitativa da intensidade da desagregação granular obtida pelo esclerómetro de Schmidt, com base na escala proposta por Madureira (2008) e presente no Quadro 4.3, coincidiu com a atribuição qualitativa da intensidade da desagregação granular obtida pela avaliação sensorial usada na cartografia da desagregação granular nos três graus referidos anteriormente, como o comprovam os resultados

obtidos pelo mesmo autor no Mosteiro da Serra do Pilar e por Oliveira (2017) no Museu do Vinho do Porto na Rua da Reboleira.

4.1.2. PLACAS

Begonha (1997, 2001) descreve as placas como formações com espessura em geral compreendida entre 3 mm e 20 mm, delimitadas por duas superfícies paralelas e que acompanham o plano da superfície exterior da pedra (Fig. 4.2). De um modo geral, apresentam forma planar (Figuras 4.2a, 4.2c e 4.2d) mas, no caso de colunas e balaústres, podem exibir formas cilíndricas ou troncocónicas. Em pedras de cunhais ou salientes, podem estender-se continuamente por duas ou mais faces perpendiculares (Fig. 4.2b).



a) Igreja do Carmo – Fachada Este



b) Hospital de Santo António – Fachada Este



c) Quartel General do Porto – Fachada Oeste



d) Quartel General do Porto – Fachada Oeste

Figura 4.2 – Aspectos de placas em edifícios no Porto

Uma placa normalmente estende-se por uma área compreendida entre a dezena e a centena de centímetros quadrados, podendo, contudo, cobrir uma área de varias centenas de centímetros quadrados. Durante a sua evolução, as placas vão progressivamente destacando-se da pedra, acabando por se separar, afastar, abaular, fendilhar e cair, deixando cicatrizes facilmente reconhecíveis (Fig. 4.2).

A face interior da placa (voltada para o interior da pedra) e a zona da pedra de onde a placa se destacou apresentam um material pulverulento e aspetos de desagregação granular (Fig. 4.2). Contrariamente à desagregação granular onde a perda de material é contínua, a formação de uma placa pode demorar dezenas de anos sem que se suspeite da sua existência.

As placas aparecem associadas sobretudo a zonas com as seguintes características:

- Zonas húmidas, não lixiviadas, localizadas nas áreas mais baixas do rés-do-chão das fachadas, submetidas à ação da ascensão capilar de soluções salinas, normalmente abaixo das pedras afetadas pela desagregação granular;
- Zonas húmidas, não lixiviadas, localizadas acima de elementos arquitetónicos horizontais como cornijas e varandas.

As placas formam-se em resultado da cristalização sobretudo do gesso segundo uma superfície paralela à exterior da pedra, como resultado das características do meio poroso da mesma. Efetivamente, o gesso aparece em quantidades apreciáveis no material pulverulento e na face interna da placa. A face exterior exposta, em geral não apresenta qualquer mineral de sal solúvel ou, quando tal sucede, é em quantidades diminutas.

Diversos autores estudaram mineralogicamente as placas de vários edifícios e monumentos, permitindo identificar os minerais de sais solúveis responsáveis pela génese das mesmas.

Begonha (1997, 2001) identificou gesso ou gesso e halite em placas e material pulverulento nas fachadas Este e Oeste do Hospital de Santo António, e Igreja do Carmo, o mesmo sucedendo a Teles e Begonha (1999) em placas do Palácio do Freixo no Porto e a Begonha (2002c) respetivamente em placas do interior e do Portal Oeste da Igreja de São Pedro de Rates.

Begonha (2004b) observou brushite ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e gesso em placas do Portal Sul da Igreja do Convento de São Gonçalo de Amarante em zonas submetidas a ascensão capilar de soluções salinas.

Moutinho (2005) identificou gesso e ainda halite e singenite em placas da Parede Interior Sul da Igreja de Santa Maria de Leça, do Mosteiro de Leça do Balio.

Cardoso (2008) observou gesso e também halite e nitratite em placas do Portal Oeste da Igreja de Paço de Sousa.

Begonha e Novais (2011) identificaram gesso, halite e nitratite em placas do Portal da Torre e do Portal Oeste da Igreja do Mosteiro de Travanca em Amarante.

Silva (2012) identificou gesso e oxalato de cálcio em placas da Fachada Principal e das *loggias* do Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo.

4.1.3. EFLORESCÊNCIAS

Madureira (2008) descreve eflorescências como formações salinas de sais solúveis, resultado de fenómenos de evaporação e migração de água, à superfície das rochas.

Arnold e Kueng (1985) consideram a existência de três tipos distintos de eflorescências:

- Eflorescências de cristais eriçados – constituídas por cristais eretos prismáticos ou aciculares, que podem causar fenómenos de desagregação granular;
- Eflorescências de agregados fofos – tipo *fluffy* – constituídas por agregados fracamente coerentes de pelos e fibras aciculares;
- Eflorescências pulverulentas – constituídas por grãos muito finos, formando agregados pouco coesos.

A aplicação de argamassas de cimento em juntas de edifícios de cantaria e/ou alvenaria tem originado a formação de eflorescências sobre as argamassas e/ou sobre a pedra em zonas adjacentes às argamassas, como sucede na fachada Este no Hospital de Santo António no Porto. (Fig.4.3).



Figura 4.3 - Fachada Este do Hospital de Santo António, Porto - Formação de eflorescências em zonas contíguas de argamassas de cimento.

Fassina et al. (1996) durante o estudo da igreja de S. Maria dei Mirocli, em Veneza, Itália, verificaram a existência de eflorescências nas placas de mármore que revestiam o interior da mesma. Após serem efetuadas análises à composição química das eflorescências, observaram a existência de aphthitalite ($K_3Na(SO_4)_2$) e thenardite (Na_2SO_4). Mais tarde, também conseguiram identificar a presença de gaylussite e trona ($Na_2H(CO_3)_2 \cdot 2H_2O$), as quais associaram às reações do dióxido de carbono com os compostos alcalinos do cimento Portland.

Begonha (1997, 2001) estudou eflorescências pulverulentas formadas quer no exterior quer no interior do Hospital de Santo António no Porto, localizadas sobre o granito do Porto em zonas adjacentes a juntas onde se empregaram argamassas de cimento. Identificou as seguintes paragénese de minerais de sais solúveis:

- Eflorescências pulverulentas no exterior:
 - Singenite, gesso e thenardite;
 - Gesso, thenardite e singenite;
 - Gesso, thenardite, halite e glauberite.
- Eflorescências pulverulentas no interior:
 - Thenardite e nitratite;
 - Thenardite, halite e glauberite;
 - Halite, gesso, thenardite e nitratite;
 - Gesso, glauberite e halite;
 - Halite, nitratite, gesso, glauberite e thenardite.

Baccaro et al. (2000), aquando do estudo das eflorescências do Duomo de Barga, em Itália, verificaram a existência de várias eflorescências, normalmente associadas a uma intensa degradação do material pétreo. Os mesmos autores referem a existência de uma relação causa efeito devido ao uso de argamassas utilizadas no restauro entre os anos de 1926 e 1939. Os autores mencionaram que as eflorescências se encontravam amplamente espalhadas ao longo das juntas de argamassas e, em muitos dos casos, se alastravam para arenitos em zonas adjacentes à junta, mas que, no caso dos calcários, isso não se

verificava. Após a realização de uma análise refratométrica detetaram uma grande dispersão de carbonatos e sulfato-carbonatos.

Begonha (2000) observou eflorescências pulverulentas formadas sobre o granito do zimbório do Mosteiro de São Miguel de Refojos em Cabeceiras de Basto, o qual havia sido revestido exteriormente por argamassas de cimento em sucessivos trabalhos de restauro e conservação. As eflorescências pulverulentas eram constituídas essencialmente por thenardite e ainda gesso, singenite e glauberite. Numa amostra de eflorescência de tipo *fluffy*, formada por mirabilite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), constatou que a mesma, por desidratação, se transformava em thenardite, passando a eflorescência de tipo *fluffy* para eflorescência de tipo pulverulento.

Costa Leite (2008) estudou eflorescências pulverulentas e *fluffy* no interior da Igreja de Santa Clara em Vila do Conde. Encontrou diversas associações de minerais de sais solúveis, designadamente:

- Eflorescências pulverulentas:
 - Thenardite;
 - Trona e thermonatrite ($\text{Na}_2 \cdot \text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$);
 - Gesso, thenardite e glauberite.
- Eflorescências do tipo *fluffy*:
 - Thermonatrite e trona;
 - Nitratite, gesso e halite.

Costa Leite (2008) observou ainda, em visitas sucessivas ao monumento, que as eflorescências de tipo *fluffy* evoluíam, por envelhecimento, para eflorescências do tipo pulverulento. Este fenómeno sucedia por variações do teor de humidade no interior da rede porosa dos substratos porosos, no caso presente do granito e/ou das argamassas, e/ou por diminuição da humidade relativa do ar.

Bré (2008) analisou eflorescências pulverulentas formadas em placas de granito coladas com argamassas de cimento no interior da Capela do Senhor da Pedra em Miramar, constituídas por trona e thermonatrite e que terão resultado da reação entre as humidades ascensionais e as argamassas de cimento empregues na colagem das placas de granito e fechamento de juntas.

Madureira (2008), no estudo do granito do Mosteiro da Serra do Pilar, identificou em várias amostras de eflorescências de diferentes zonas do edifício, duas tipologias de eflorescências: *fluffy* e pulverulentas. Nas eflorescências tipo *fluffy*, o autor identificou os minerais de sais solúveis thenardite, glauberite e calcite. Nas eflorescências do tipo pulverulentas, o autor identificou thenardite, singenite e gesso.

Silva (2012) recolheu duas amostras distintas de eflorescências pulverulentas, a primeira numa zona onde a água da chuva chega por capilaridade, mas sem atingir a superfície diretamente, e a segunda numa zona de lixiviação dos depósitos de guano de aves. A autora, com recurso ao MEV, detetou os seguintes minerais de sais solúveis: gesso, brushite e calcite na primeira amostra e brushite, gesso e oxalato de cálcio na segunda.

4.1.4. FILMES NEGROS

O aparecimento de filmes negros nas rochas está sempre associado a zonas cujos índices de poluição atmosférica são elevados, podendo ser considerados como depósitos de agentes poluentes que aderem à superfície da rocha, tornando a sua superfície mais escura, normalmente negra ou castanha escura. Inicialmente estudados por Nord e Tronner (1990, 1991, 1992) e Nord e Ericsson (1993) em

monumentos da Suécia e Polónia, são formações muito finas, podendo cobrir a totalidade da superfície exposta da rocha (Fig. 4.4).



a) Formação de filmes negros em zonas de escorrência não forte e em zonas sujeitas a salpicos



b) Filmes negros em zonas sujeitas a salpicos

Figura 4.4 – Fachada Sul do Hospital de Santo António, Porto – Aspeto geral de filmes negros

A espessura dos filmes negros é reduzida, estando compreendida entre 20 μm a 200 μm em monumentos da Suécia e Polónia (Nord e Tronner, 1991, 1992, Nord e Ericsson, 1993), 10 μm a 50 μm em monumentos dos mesmos países (Nord e Tronner, 1990), 40 μm a 50 μm em filmes negros da Torre dos Clérigos no Porto (Schiavon, 1993, 1996), 0 a 20 μm em monumentos graníticos de Aberdeen na Escócia (Schiavon, 1996), 40 μm a 370 μm no Hospital de Santo António (Begonha, 1997, 2001), 40 μm a 240 μm na Igreja do Carmo (Begonha, 1997, 2001).

Aderem fortemente ao substrato, pelo que a sua remoção é difícil e exige métodos agressivos que devem ser ponderados e controlados (Castro et al. (1988), Delgado Rodrigues e Castro (1989), Young et al. (1996), Begonha (2011a)). São normalmente baços, homogéneos e duros. Este tipo de formações aparece normalmente associado a três tipos de zonas distintas:

- Zonas baixas onde exista ascensão capilar;
- Zonas expostas a chuvas, mas sem escorrência significativa (Fig. 4.4a);
- Zonas baixas submetidas a salpicos de chuva (Fig. 4.4b).

Begonha (1997, 2001) após a análise de vinte e sete amostras de filmes negros retiradas do Hospital de Santo António, refere que são constituídos por partículas de reduzida dimensão agregadas por uma matriz de material homogéneo provavelmente de natureza carbonosa amorfa, exibindo, relativamente ao granito do Porto, maiores concentrações em Fe, S, Ca, Cl, Mg, Ti e P. As partículas caracterizam-se por uma grande complexidade mineralógica e morfológica, destacando-se os seguintes tipos:

- cristais xenomórficos de quartzo, feldspatos e micas, resultantes da deposição de poeiras do solo e das ruas;
- partículas ricas em Fe, xenomórficas, de aspeto não cristalino, depositadas e coladas à matriz de material homogéneo provavelmente de natureza amorfa;
- cinzas volantes, esféricas, de superfície lisa e composição química diversa;
- cinzas volantes, esféricas, porosas, de natureza carbonosa;
- cristais de gesso inexistentes ou raros.

4.2. INFLUÊNCIA DAS ARGAMASSAS DE CIMENTO

A utilização de argamassas de cimento em trabalhos de reabilitação, conservação e restauro é uma prática usual desde meados do século passado. Como já foi referido no Capítulo 2, as argamassas de cimento são compostas à base de cimento, areias e água. No entanto e ao contrário do que acontece nas argamassas de cal, a sua composição mineralógica pode tornar-se bastante prejudicial para as rochas.

Begonha (2008) refere que as principais patologias associadas com o uso de argamassas de cimento em intervenções, prendem-se com o aparecimento de desagregação granular diferencial, eflorescências, placas e plaquetas.

Segundo Sousa (2009), a ação prejudicial das argamassas de cimento deve-se em parte ao facto das estruturas porosas das argamassas e das pedras serem bastante distintas. Esta diferença leva a que os fluxos e tempos de evaporação sejam distintos. As pedras apresentam tempos de evaporação inferiores, ocorrendo a migração da água, por capilaridade, e consequente passagem de minerais de sais solúveis da argamassa para a pedra. Como já referido anteriormente, a presença de minerais de sais solúveis poderá desencadear uma série de possíveis deteriorações. Esta migração dos minerais de sais solúveis potencia então o aparecimento de eflorescências nas juntas e zonas circundantes, tal como verificado por Sequeira Braga *et al.* (1996) no estudo do edifício do Largo do Paço, em Braga e por Baccaro *et al.* (2000), no estudo do Duomo de Barga, em Itália.

A intensidade da desagregação granular normalmente também se torna mais gravosa, quanto mais próximo da argamassa a zona se encontrar, designando-se por desagregação granular diferencial como mostra a Figura 4.5, respeitante ao Hospital de Santo António no Porto.

Presentemente, o uso de argamassas de cal, quer hidráulicas, quer aéreas tem vindo a ser mais comum, devido ao maior conhecimento dos malefícios da utilização de argamassas de cimento nestas situações. No entanto e apesar das desvantagens que o uso de cal aérea apresenta em relação ao cimento, nomeadamente o endurecimento inicial, Margalha *et al.* (2006) referem que o processo de maturação da cal viva extinta com areia, apresenta uma influência positiva na plasticidade da argamassa, reduzindo assim a quantidade de água da mistura e, consequentemente, obtém-se melhores características mecânicas e de capilaridade. Todavia, e apesar do uso de argamassas à base cal ser mais aconselhado, as razões económicas e relacionadas com a trabalhabilidade, nomeadamente a velocidade de ganho de presa, continuam a pesar no uso de argamassas à base de cimento.



Figura 4.5 – Hospital de Santo António, Porto - Perda de material pétreo em zonas adjacentes a juntas de argamassa de cimento

4.3. CASOS DE ESTUDO

Com o objetivo de se obter uma melhor percepção do efeito das argamassas em intervenções em edifícios históricos de granito, executou-se o levantamento das deteriorações das pedras de granito do Porto em setores de diversos edifícios na zona do Porto, entre eles o Hospital de Santo António, Igreja do Carmo, Capela-Farol de São Miguel-o-Anjo, Igreja Paroquial de São João da Foz e o Muro do Quartel General na Rua da Lapa.

4.3.1. O GRANITO DO PORTO

Devido à forte abundância deste tipo de rocha e ao facto de apresentar boa durabilidade e comportamento mecânico satisfatório, o granito do Porto está presente na maioria das edificações da cidade. Begonha (1997, 2001) refere que Carrington da Costa e Teixeira (1957), tendo por base a folha 9-C-Porto da Carta Geológica de Portugal, classificam o granito do Porto como sendo alcalino, de grão médio a grosseiro, leucocrata e de duas micas.

O granito do Porto aflora na sua grande maioria na cidade do Porto, estendendo-se ainda para os concelhos vizinhos de Vila Nova de Gaia, Matosinhos e Maia, contactando a Este com o Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico e a Oeste com o Complexo Metamórfico da Foz do Douro.

Situa-se na Zona Centro-Ibérica próximo da sutura com a Zona de Ossa Morena. Relativamente à fase F3 da deformação Hercínica, Noronha *et al.* (1979) e Ferreira *et al.* (1987) consideram-no como um granito sin-tectónico. O estudo geocronológico U-Pb sobre frações de monazite e de zircão realizado por Almeida (2001) permitiu obter uma idade mínima de 318 ± 2 Ma para a instalação do granito do Porto.

O granito do Porto é um granito de grão médio de duas micas constituído por quartzo, microclina (Or 92,8 %, Ab 5,7 %, An 1,5 %), plagioclase (Or 0,7 %, Ab 90,3 %, An 9,0 %), moscovite e biotite, com textura hipidiomórfica granular, por vezes com tendência porfiróide. Quando não meteorizado, apresenta cor cinzenta clara e aspeto muito homogéneo. A moscovite é a mica dominante e a microclina é frequentemente pertítica. Os minerais acessórios são a apatite, zircão, silimanite (fibrolite), monazite e rútilo. (Begonha, 1997, 2001).

O granito do Porto foi submetido a alteração tardi-a pós-magmática, caracterizada pela presença de várias gerações de micas dioctaédricas, de clorite, de raros interestratificados clorite/esmectite e de uma fase esmectítica pura (Begonha, 1997, 2001).

Begonha (1997, 2001) afirma que o granito do Porto aparece sempre mais ou menos meteorizado à superfície, tendo pela primeira vez estudado amostras de rocha sã, obtidas na antiga Pedreira da Trindade, entre 20 m e 12 m abaixo da cota da rua dos Heróis e Mártires de Angola.

A maior parte dos monumentos e edifícios graníticos da cidade do Porto apresenta um estado avançado de deterioração da pedra que advém principalmente da conjugação de quatro fatores:

- Estado de meteorização inicial das pedras graníticas utilizadas na construção herdado das pedreiras;
- Proximidade do Oceano Atlântico;
- Utilização generalizada de argamassas de cimento Portland em juntas;
- Poluição atmosférica.

A desagregação granular e os filmes negros são as deteriorações mais comuns nos monumentos e edifícios graníticos da cidade do Porto, a primeira devido à presença de sais muito solúveis como a halite, nitratite e thenardite e de sais menos solúveis como o gesso e os filmes negros pelos elevados índices de poluição antropogénica.

4.3.2. HOSPITAL SANTO ANTÓNIO

A construção do Hospital de Santo António, no Porto, iniciou-se em 1769, tendo sido encomendada pela Mesa da Misericórdia, sendo que a construção durou até cerca de 1871. Porém, e considerando o projeto inicial, nem metade do mesmo foi concluído, devido às suas dimensões exageradas. O projeto é da

autoria do arquiteto inglês John Carr, e inicialmente era destinado a ser construído em Londres. O edifício foi pioneiro da corrente neoclássica em Portugal e caracteriza-se pelo frontão hexastilo, pela simetria e simplicidade das formas. Foi classificado como Monumento Nacional em 1910. O frontão sobre o pórtico hexastilo e os dois torreões que encerram as fachadas Norte e Sul foram construídos durante o Estado Novo.

Ao longo dos anos, foram realizadas diversas intervenções no hospital e, em alguns casos, apesar de a curto prazo essas soluções parecerem satisfatórias, tornaram-se, com o passar do tempo, catalisadoras da degradação e aspeto do edifício.

A observação do monumento revelou o uso maioritário de argamassas de cimento para refechamento de juntas (Fig.4.6a) ou até para o preenchimento total de lacunas o que, em casos extremos e após várias intervenções, levou ao revestimento completo da pedra (Fig. 4.6b). A ocorrência de mais do que uma intervenção no mesmo local deve-se à incompatibilidade entre o granito e as argamassas de cimento o que, com o passar do tempo, provocou forte perda de material pétreo e consequente destacamento da argamassa de cimento da junta (Fig. 4.6a).



a) Refechamento e destacamento de argamassas de cimento das juntas



b) Revestimento integral de pedras de granito do Porto com argamassas de cimento

Figura 4.6 – Hospital de Santo António, Porto - Utilização de argamassas de cimento em trabalhos de restauro prévios

Com o intuito de verificar a distribuição das deteriorações e a influência do emprego de argamassas de cimento na génese e intensidade das mesmas, cartografaram-se vários setores da fachada principal (Este) do monumento (Fig. 4.7) bem como do muro de suporte da fachada Sul (Figuras 4.8 e 4.9).



Figura 4.7 – Cartografias das deteriorações em setores da fachada Este do Hospital de Santo António

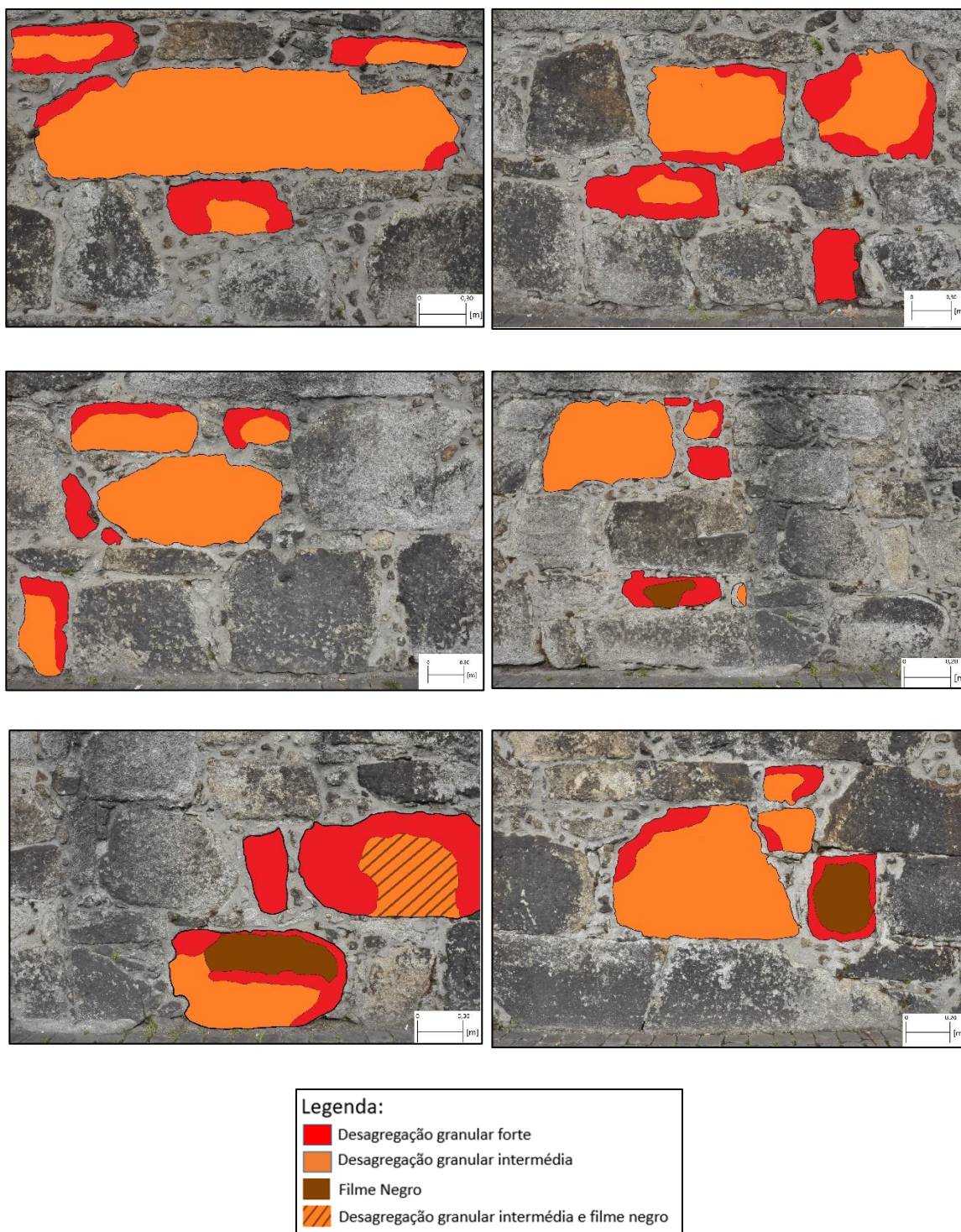


Figura 4.8 – Cartografias das deteriorações em setores do muro de suporte da fachada Sul do Hospital de Santo António

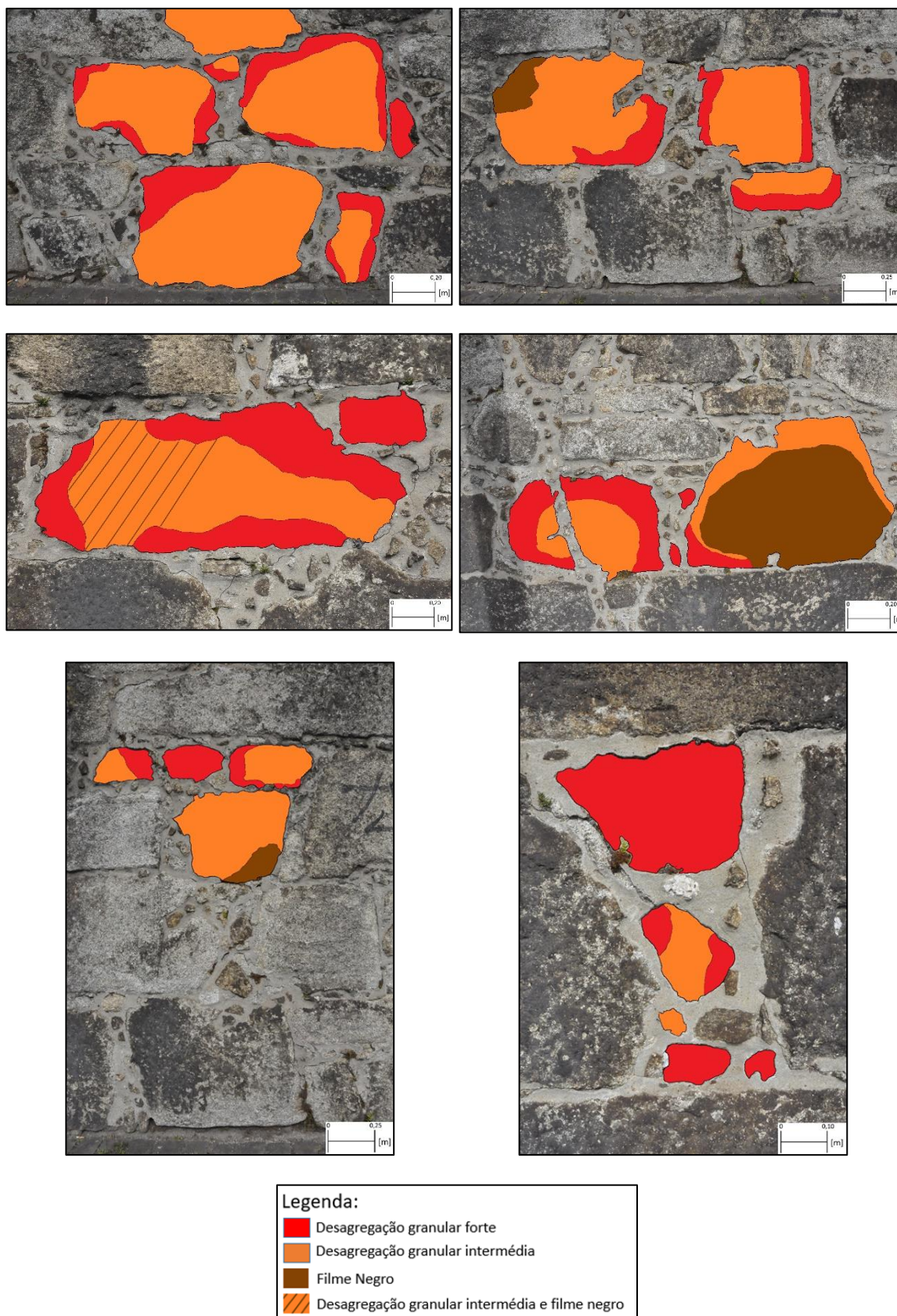


Figura 4.9 - Cartografias das deteriorações em setores do muro de suporte da fachada Sul do Hospital de Santo António

As zonas estudadas da fachada Este revelam a predominância do uso de argamassas no refechamento de juntas e níveis intensos de desagregação granular, sendo esta mais intensa entre os 3,50 m e os 4 m de altura acima do solo, podendo isto justificar-se pela variação da franja capilar nessas alturas e, consequentemente, num maior número de ciclos de cristalização/dissolução, funcionando como catalisador para a desagregação granular. Zonas mais elevadas e não sujeitas a aplicação de argamassas de cimento apresentam normalmente intensidade de desagregação baixas e/ou intermédias.

Foi possível observar filmes negros nos setores estudados das duas fachadas, resultado dos elevados índices de poluição da cidade, bem como a formação de eflorescências em zonas próximas das juntas de argamassas de cimento em setores da fachada Este. Em algumas zonas, foi igualmente possível o reconhecimento de áreas afetadas por plaquetas associadas a zonas de desagregação granular forte.

Por último, verifica-se a existência de várias juntas abertas, resultado do destacamento da argamassa após a perda de contacto com a pedra, devido a fenómenos severos de desagregação granular.

Pelo estudo das cartografias apresentadas conclui-se que a principal patologia é a desagregação granular de grau intermédio e forte. Isto dever-se-á à conjugação dos efeitos da ascensão capilar de soluções salinas e à utilização de argamassas de cimento, constatando-se uma maior intensidade de desagregação granular em zonas adjacentes a juntas preenchidas com as referidas argamassas. Verificam-se também diversas áreas de formação de filmes negros, devido à poluição atmosférica na cidade do Porto, e zonas em que os filmes negros vão desaparecendo devido à perda de material pétreo nas áreas em contacto e próximas das argamassas de cimento, resultante da ação da desagregação granular de intensidade intermédia ou forte.

4.3.3. IGREJA DO CARMO

A igreja de Ordem Terceira da Nossa Senhora do Carmo, localizada na Rua do Carmo, no Porto, é um dos edifícios mais icónicos e visitados da cidade. Facilmente reconhecível pelos azulejos, pintados em tons de azul e branco, que recobrem a quase totalidade da fachada Este. Os mesmos foram desenhados por Silvestre Silvestri, tendo sido pintados por Carlos Branco, sendo datados de 1912.

A igreja, construída em meados do sec. XVIII, entre 1756 e 1768, é projeto da autoria do arquiteto José Figueiredo Seixas, sendo considerada um dos maiores testemunhos do rococó português.

O edifício foi mais tarde, em 2013, considerado como Monumento Nacional, e tem nos trabalhos de talha dourada um dos principais focos de interesse para quem a visita.

Observaram-se as fachadas exteriores, sendo o maior foco de análise a cartografia das argamassas utilizadas nas juntas, assim como a intensidade de desagregação granular e possível formação de placas e plaquetas.

A Figura 4.10 refere-se à cartografia das deteriorações levada a efeito em dois setores da fachada Este. A Figura 4.11 diz respeito a um setor da fachada Sul.

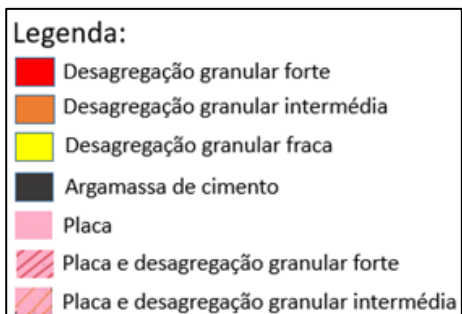
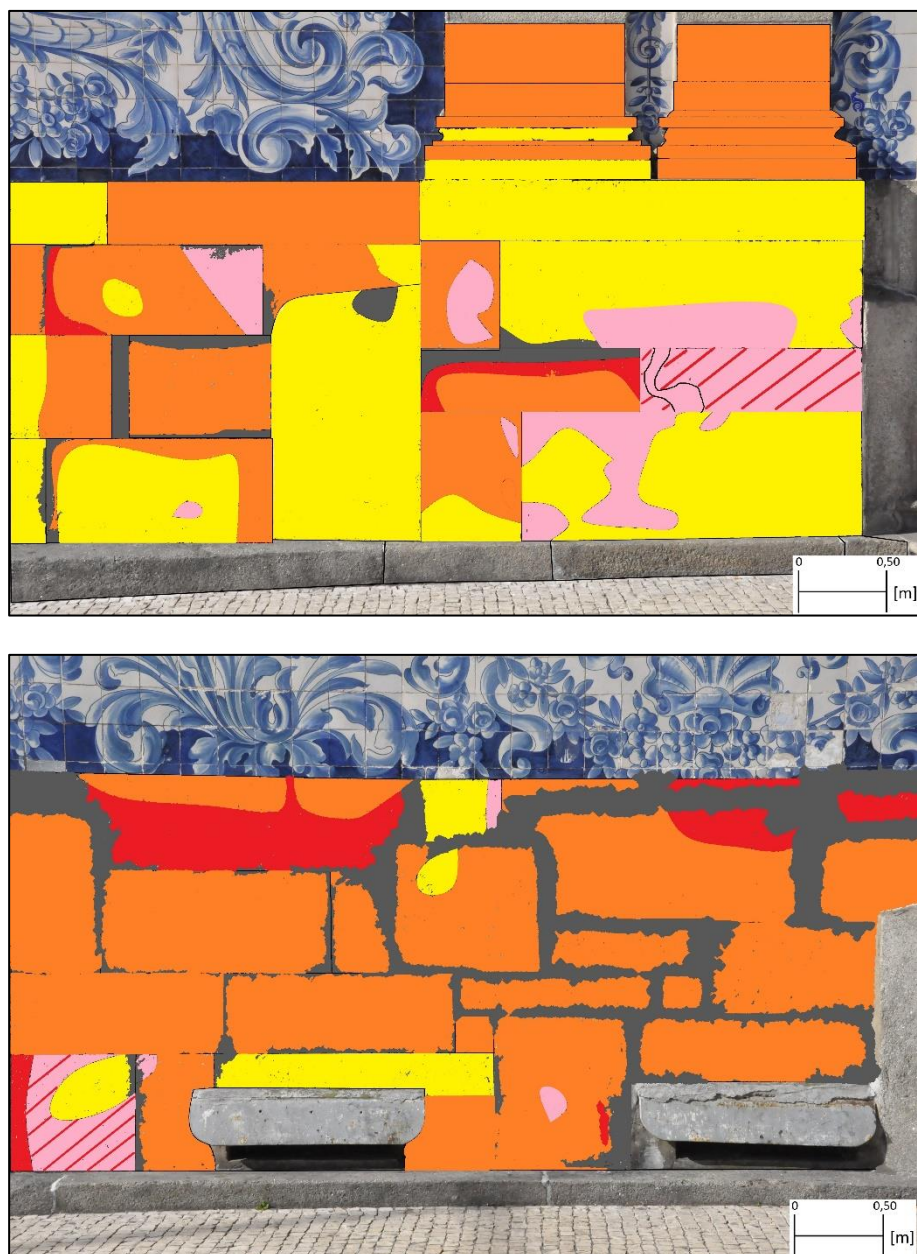


Figura 4.10 – Igreja do Carmo – Cartografia das deteriorações na fachada Este

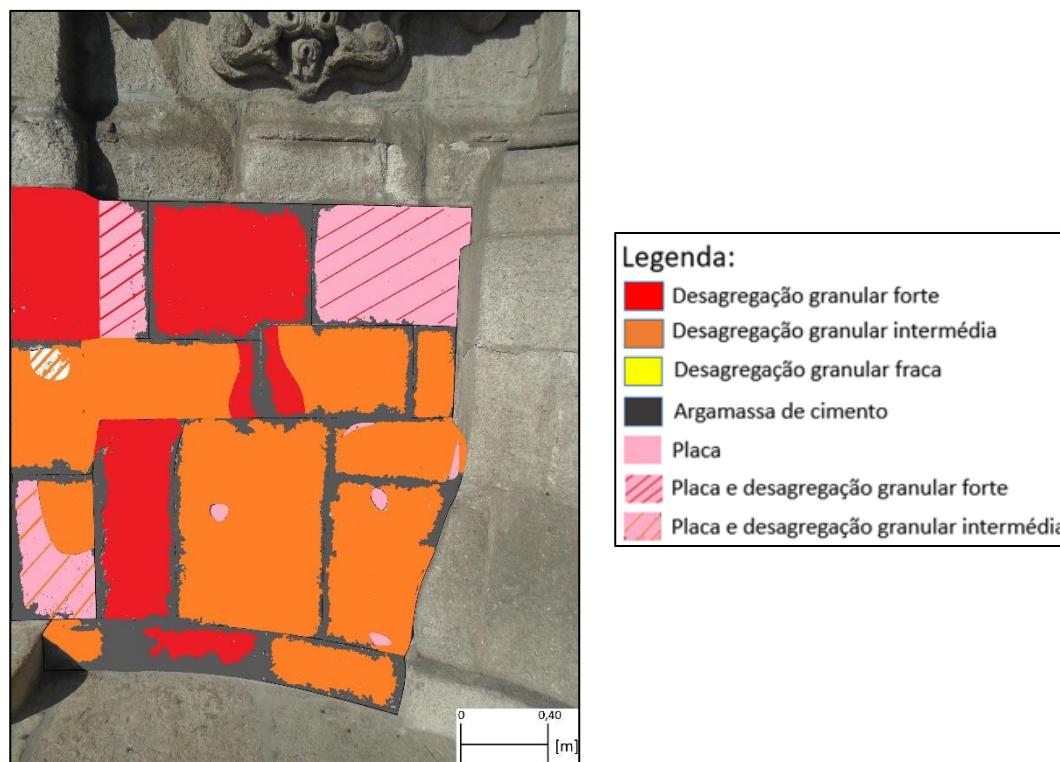


Figura 4.11 - Igreja do Carmo – Cartografia das deteriorações na fachada Sul

Após análise das cartografias realizadas, verificou-se que maior parte das três áreas estudadas encontra-se afetada por desagregação granular de intensidade intermédia ou fraca e também por placas. Nota para o facto de as juntas entre as pedras se encontrarem preenchidas por argamassa de cimento, sendo bem patente nalgumas situações um aumento da intensidade da desagregação granular junto às argamassas.

4.3.4. IGREJA PAROQUIAL DE SÃO JOÃO DA FOZ DO DOURO

A Igreja Paroquial de São João da Foz do Douro surge devido à parcial destruição da anterior Igreja da era renascentista. Esta havia sido irremediavelmente danificada durante a remodelação do Castelo da Foz, em 1640. A nova igreja é então construída em terrenos cedidos aos beneditinos, tendo a construção sido iniciada entre 1709 e 1713 e completada em 1727.

O edifício caracteriza-se por uma nave única e diversas capelas, com obras impressionantes de talha barroca. A sacristia, por sua vez, é de construção mais recente e datada de 1745.

Verifica-se que a área de estudo da Igreja Paroquial de São João da Foz do Douro se encontra maioritariamente afetada por desagregação granular intermédia, com episódios de desagregação granular fraca e forte, notando-se ainda o facto de as juntas entre as pedras se encontrarem preenchidas com argamassa de cimento. Também neste caso é patente algumas situações de aumento da intensidade da desagregação granular junto às argamassas.

A figura seguinte diz respeito a uma cartografia realizada num pilar no exterior do edifício.

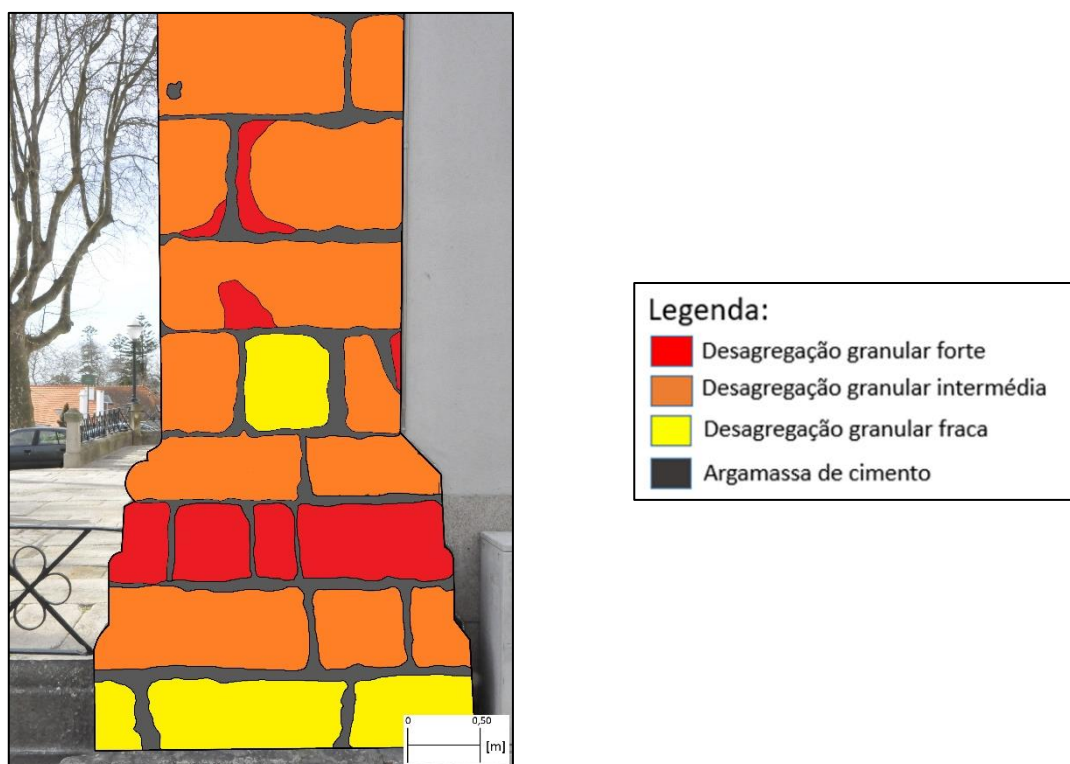


Figura 4.12 – Igreja Paroquial de São João da Foz do Douro – Cartografia das deteriorações na pilastra orientada para És-Nordeste

4.3.5. CAPELA-FAROL DE SÃO MIGUEL-O-ANJO

A capela de São Miguel-o-Anjo, localizada na Rua do Passeio Alegre, no Porto, é um edifício de matriz exterior quadrangular e interior octogonal, construído com pedras de granito, sendo o farol mais antigo existente em Portugal. Foi contruída em 1527, a mando de D. Miguel da Silva, comendatário do mosteiro de Santo Tirso, a que pertencia o couto de S. João da Foz. A construção do farol deveu-se à crescente expansão marítima e desenvolvimento do comércio.

Em 1951 o edifício foi considerado como Imóvel de Interesse Público, devido à sua importância e características arquitetónicas, sendo um monumento importante da arquitetura marítima portuguesa.

Desde há alguns anos e devido ao pobre estado de conservação do edifício, está prevista uma intervenção, sendo que a proximidade do mar e consequentemente salinidade do meio ambiente e a ausência de intervenções num passado recente, justificam o atual fraco estado de conservação do edifício.

A Figura 4.13 diz respeito a uma cartografia num trecho da fachada Este da Capela-Farol de São Miguel-o-Anjo.

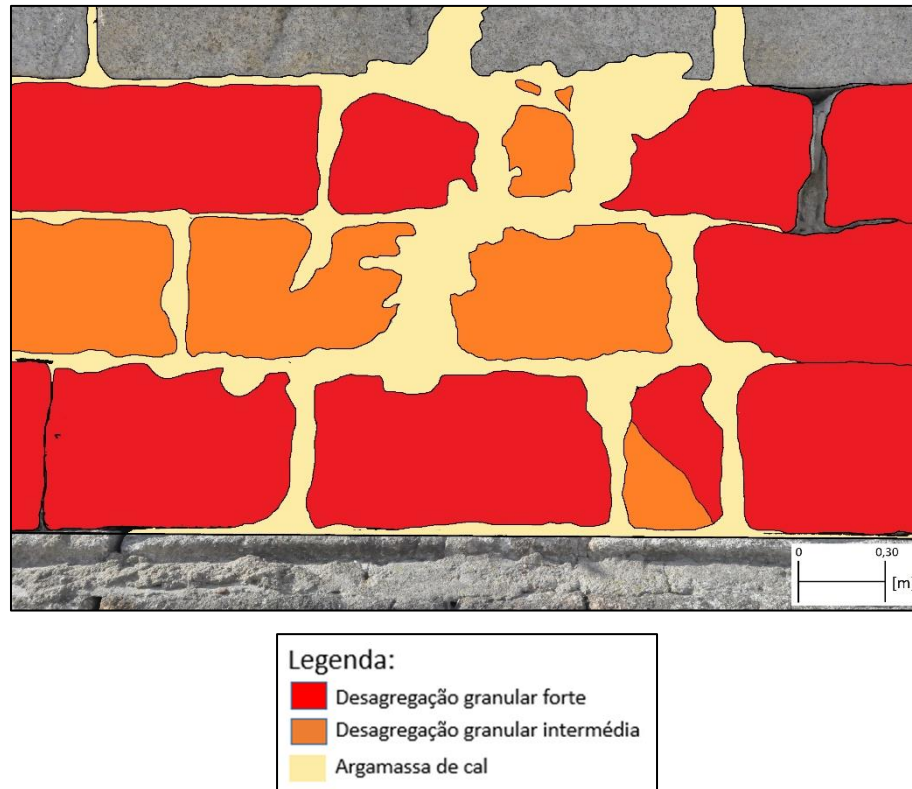


Figura 4.13 – Capela Farol de São Miguel-o-Anjo – Cartografia das deteriorações

Constata-se uma maior área de desagregação granular forte, com alguns episódios de desagregação granular intermédia, resultado, não do uso de argamassas de cimento (à data da realização desta cartografia a maioria das juntas ou se encontravam abertas, ou preenchidas com argamassas de cal), mas devido à proximidade do mar e aos nevoeiros salinos.

4.3.6. MURO NA RUA DA LAPA DO ANTIGO QUARTEL GENERAL

O Quartel de Santo Ovídio, localizado na Praça da República, na cidade do Porto, foi construído com granito do Porto a mando de D. Maria I no ano 1790. Projetado por Reinaldo Oudinot, a sua construção só foi finalizada em 1806.

A análise realizada incidiu no muro na Rua da Lapa, em pedras de granito e grande maioria das juntas de argamassa de cimento. Uma primeira análise expedita verificou-se a existência de várias placas de dimensão considerável. Por outro lado, as pedras encontram-se sujeitas a desagregação granular forte e/ou intermédia.

A origem dos dois tipos de deterioração resulta da ascensão por capilaridade de soluções salinas a partir do solo e das argamassas de cimento.

A Figura 4.14 diz respeito às cartografias realizadas, em dois troços distintos do muro.

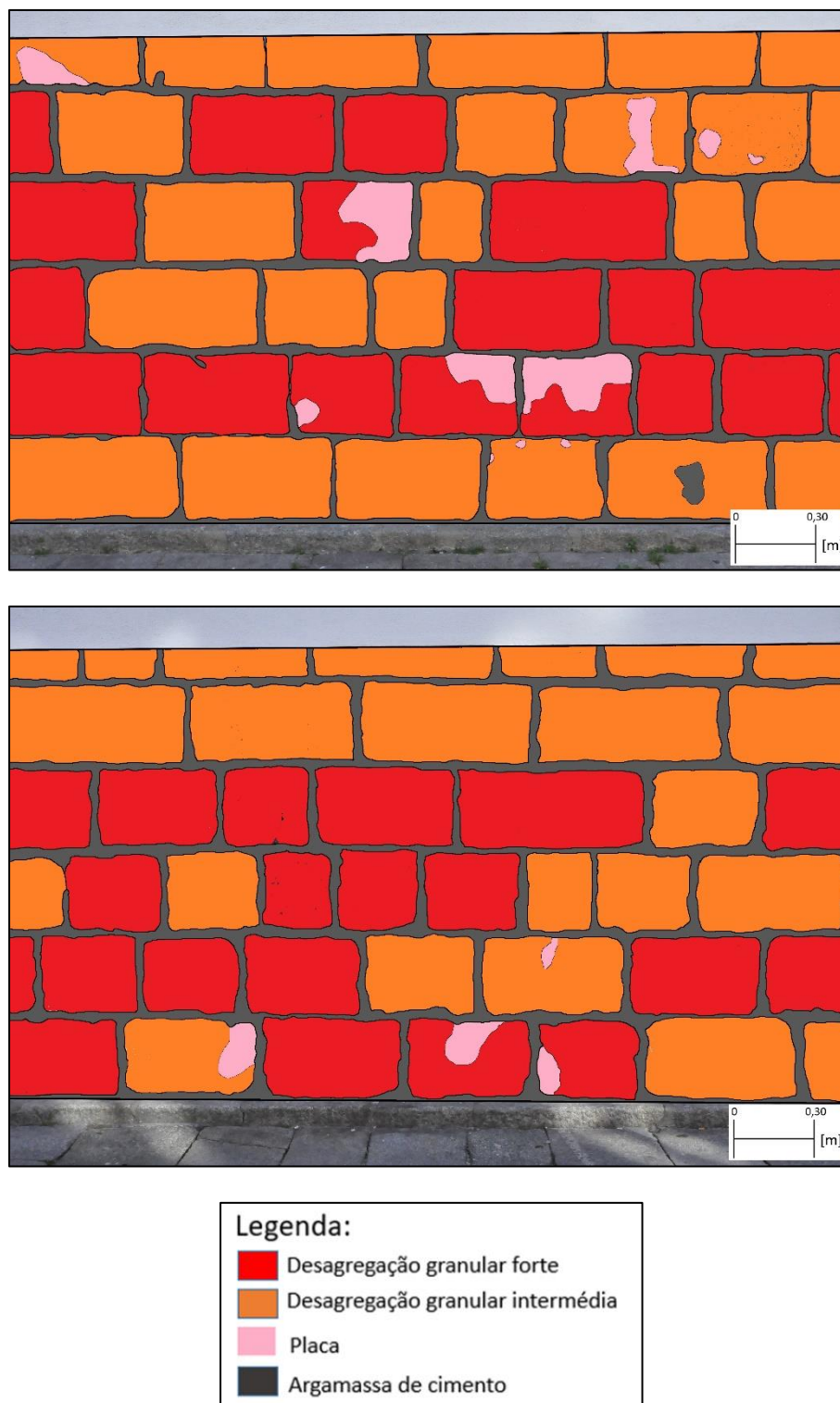


Figura 4.14 – Muro do Quartel General na Rua da Lapa – Cartografia das deteriorações

ENSAIOS LABORATORIAIS

5.1. ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS MECÂNICAS

5.1.1. DEFINIÇÃO DE ROTURA

A avaliação da tensão de rotura das argamassas, apesar de não deter um papel de maior importância no desempenho de estruturas em estado de serviço, torna-se indispensável quer para o dimensionamento quer para o conhecimento geral da resistência dos materiais. A sua utilização na caracterização das argamassas também é bastante ampla em parte devido à facilidade e simplicidade do ensaio.

A definição de rotura poderá tornar-se bastante ambígua, dependendo do ponto de vista e objetivo do utilizador. Podem-se considerar genericamente dois tipos de rotura possíveis: frágil ou dúctil. Em ambos os casos, na rotura, existe libertação de energia, sendo que em rotura dúctil, o aumento de carga é geralmente acompanhado por aumentos consideráveis da deformação, funcionando assim como um pré-aviso, tornando também o momento de rotura e consequente libertação de energia menos violentos, ao contrário do que se verifica nas roturas frágeis, onde as deformações são menores, pelo que, no momento de rotura, existe maior libertação de energia, tornando-a mais repentina e sem aviso.

A rotura de um material poderá ser, então, considerada como a separação de um sólido em partes diferenciadas, obtendo-se assim a fratura (Sousa Coutinho e Gonçalves, 1994). Os mesmos autores referem que, do ponto de vista do engenheiro civil, a rotura pode ser analisada segundo três pontos principais:

- Separação de um sólido contínuo em dois ou mais pedaços distintos;
- Carga máxima suportada por uma peça solicitada de maneira geometricamente fixa;
- Estado de deformação ou fissuração de tal modo excessivo que o material já não é utilizável.

Por fim, os ensaios para a determinação da tensão de rotura das argamassas cingem-se, geralmente, à flexão e à compressão.

5.1.2. METODOLOGIA DE ENSAIO

Os ensaios para a determinação das resistências mecânicas foram realizados segundo o descrito na norma EN 196-1 (2016). Foram ensaiados provetes paralelepípedicos de dimensões 40 mm×40 mm×160 mm, que foram submetidos a dois tipos de cura: câmara húmida climatizada (Fig. 5.1a), regulada para temperatura de 20°C e humidade relativa não inferior a 97%, e ao ar livre (Fig. 5.1b).

Ensaïaram-se provetes aos 7 e 28 dias de idade. Os moldes foram preparados segundo o descrito no Capítulo 3, tendo os provetes sido desmoldados 24 h após a moldagem, no caso de cimentos, e 48 h, no caso das cais e argamassas prontas.



a) Provetes submetidos a cura em câmara húmida b) Provetes submetidos a cura ao ar livre

Figura 5.1 – Tipos de cura

Os provetes de cal aérea, em conjunto com seis provetes de argamassas prontas, três com aditivo pozolânico 1 e os restantes com aditivo pozolânico 2, foram ensaiados aos 60 dias e, durante o seu processo de cura, permaneceram no interior do laboratório. Isto deveu-se às propriedades de ambas as argamassas: elevada fragilidade e endurecimento lento em presença de dióxido de carbono do ar.

5.1.3. RESISTÊNCIAS À FLEXÃO E COMPRESSÃO

Para o cálculo da resistência à flexão foi usada a metodologia de 3 pontos de contacto, conforme descrito pela norma EN 196-1 (2016). Os provetes são colocados em posição e submetidos a uma força concentrada a meio vão a qual sofre um aumento de carga constante de 50 ± 10 N/s até o provete atingir a rotura. Após atingir a rotura, e recorrendo à expressão 5.1, é obtida a resistência à flexão, expressa em MPa:

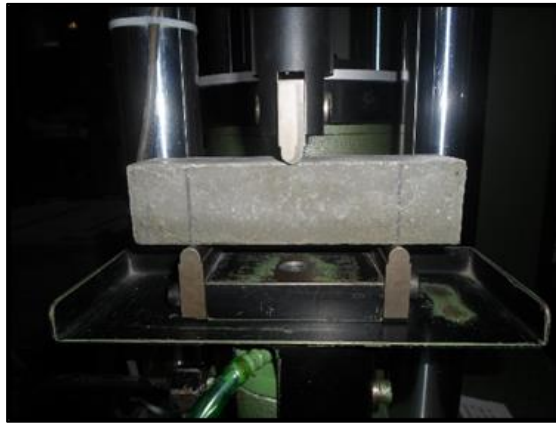
$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times l}{40^3} \quad (5.1)$$

Em que,

F_f – Força máxima concentrada a meio vão na rotura;

l – Distância entre os apoios.

A Figura 5.2a representa um provete em posição de ensaio, antes de lhe ser aplicada a força a meio vão, enquanto a Figura 5.2b apresenta um provete após este atingir a rotura.



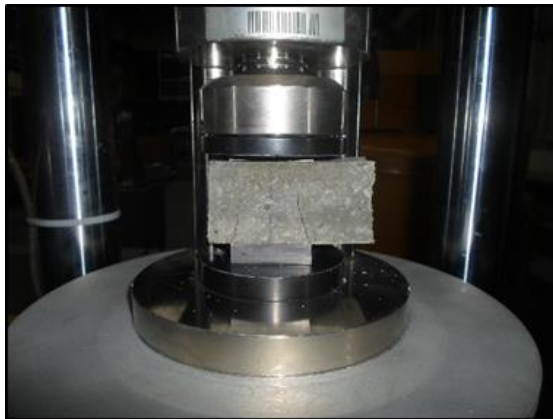
a) Provete em posição de ensaio à flexão



b) Provete após a rotura no ensaio à flexão

Figura 5.2 – Ensaio à flexão

Após a rotura à flexão, os 6 provetes são ensaiados à compressão numa outra prensa. A prensa hidráulica aplica um aumento de carga de 2400 ± 200 N/s, até ser atingida a rotura. A Figura 5.3a mostra um provete em posição de ensaio à compressão e um provete após o ensaio (Fig. 5.3b), onde se verifica, como seria de esperar, o efeito de cintagem após a rotura.



a) Provete em posição de ensaio à compressão



b) Provete após a rotura no ensaio à compressão

Figura 5.3 – Ensaio à compressão

Por fim e recorrendo à expressão 5.2, obtém-se o valor para a resistência mecânica à compressão, em MPa, onde F_C representa a força máxima aplicada que o provete resistiu.

$$R_C = \frac{F_C}{1600} \quad (5.2)$$

5.1.4. RESULTADOS – ARGAMASSAS DE CIMENTO CEM I 42,5R

Os resultados dos ensaios das argamassas de cimento CEM I 42,5R são exibidos nos Quadros 5.1, 5.2 e 5.3.

Realizaram-se análises comparativas tendo em consideração a diferença de traços, quer em peso quer em volume, a utilização de diferentes águas na amassadura (destilada ou potável), utilização de diferentes agregados e, por último, a influência dos dois diferentes tipos de cura utilizados.

Quadro 5.1 –Argamassas de cimento CEM I 42.5R - Resistências aos 7 dias com traço em peso e cura na câmara húmida

| Provete (Traço) | Massa (g) | Resistência Flexão (MPa) | Média (MPa) | Resistência Compressão (MPa) | | Média (MPa) |
|-----------------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------------|------|-------------|
| CANAD (1:3) | 595,4 | 7,3 | 7,1 | 50,3 | 50,2 | 50,2 ± 1,2 |
| CANAD (1:3) | 594,7 | 6,8 | | 49,0 | 51,3 | |
| CANAD (1:3) | 595,4 | 7,3 | | 48,6 | 51,6 | |
| CANAP (1:3) | 589,6 | 6,3 | 6,1 | 48,4 | 49,7 | 49,0 ± 0,9 |
| CANAP (1:3) | 591,2 | 6,1 | | 49,6 | 49,7 | |
| CANAP (1:3) | 591,0 | 5,9 | | 49,3 | 47,5 | |
| CANAP (1:2,5) | 594,6 | 5,9 | 5,9 | 47,7 | 47,7 | 47,2 ± 0,6 |
| CANAP (1:2,5) | 596,8 | 6,3 | | 46,9 | 47,2 | |
| CANAP (1:2,5) | 596,3 | 5,6 | | 47,8 | 46,3 | |

A análise dos resultados permite concluir que:

- A utilização de água potável ou água destilada pouco interfere nas resistências dos provetes, verificando-se uma diminuição de resistência à compressão na ordem dos 2,39% (50,2 ± 1,2 MPa com água destilada e 49,0 ± 0,9 MPa com água potável);
- A modificação do traço, mantendo-se o tipo de água de amassadura, provocou uma vez mais, uma diminuição de resistência à compressão na ordem dos 3,67% (49,0 ± 0,9 MPa para o traço 1:3 e 47,2 ± 0,6 MPa para o traço 1:2,5). No entanto, era expectável que, para o traço 1:2,5 e devido à maior quantidade de cimento, apresentasse resistência superior.

O Quadro 5.2 apresenta os resultados da resistência à compressão aos 28 dias das argamassas de cimento CEM I 42.5R para os traços em peso e com cura em câmara húmida.

Da análise dos resultados do Quadro 5.2 conclui-se que:

- A utilização de água potável ou água destilada interfere pouco na resistência à flexão (variação de 0,83% correspondendo a 7,8 MPa e 7,4 MPa respetivamente com água destilada e água potável) e também na resistência à compressão (variação de 3,83% correspondendo a 59,9 ± 1,0 MPa com água destilada e 60,4 ± 0,4 MPa para água potável);
- A resistência à compressão, mantendo o mesmo tipo de água de amassadura, é 2,60% maior no traço 1:3 (60,4 ± 0,4 MPa) relativamente ao traço 1:2,5 (59,5 ± 1,0 MPa), contrariamente ao expectável;

- A resistência à flexão, mantendo o mesmo tipo de água de amassadura, é 1,49% maior no traço 1:2,5 (7,7 MPa) comparativamente ao traço 1:3 (7,5 MPa).

Quadro 5.2 - Argamassas de cimento CEM I 42.5R - Resistências aos 28 dias com traço em peso e cura na câmara húmida

| Provete (Traço) | Massa (g) | Resistência Flexão (MPa) | Média (MPa) | Resistência Compressão (MPa) | | Média (MPa) |
|-----------------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------------|------|-------------|
| CANAD (1:3) | 594,7 | 8,0 | 7,8 | 58,1 | 59,9 | 59,9 ± 1,0 |
| CANAD (1:3) | 595,2 | 7,3 | | 59,8 | 60,8 | |
| CANAD (1:3) | 595,5 | 8,0 | | 60,9 | 59,9 | |
| CANAP (1:3) | 597,8 | 7,7 | 7,5 | 59,8 | 60,4 | 60,4 ± 0,4 |
| CANAP (1:3) | 599,4 | 7,7 | | 60,0 | 60,6 | |
| CANAP (1:3) | 598,2 | 7,0 | | 60,3 | 61,0 | |
| CANAP (1:2,5) | 599,3 | 8,2 | 7,7 | 58,5 | 58,4 | 59,5 ± 1,0 |
| CANAP (1:2,5) | 596,1 | 7,3 | | 60,9 | 59,4 | |
| CANAP (1:2,5) | 599,4 | 7,7 | | 59,9 | 60,1 | |

Concluindo, os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, apresentando variações muito reduzidas e uma aceitável dispersão dos resultados.

O Quadro 5.3 apresenta as resistências à flexão e à compressão aos 28 dias, obtidas em amassaduras produzidas com traços em volume e cura em câmara húmida.

Após a análise dos resultados obtidos, salienta-se o facto de os mesmos não poderem ser considerados válidos para os provetes CA1, uma vez que, e tendo como base os critérios de aceitabilidade da norma EN 196-1 (2016), três valores (18,8 MPa, 20,1 MPa e 27,6 MPa) diferem mais de 10% da média das medições (23,2 MPa). No entanto, esta ocorrência pode ser facilmente explicada. Conforme pode ser verificado existem dois conjuntos de valores distintos para as resistências à compressão, sendo estes grupos compostos pelos valores 18,8 MPa, 20,1 MPa e 21,8 MPa e pelos valores 25,3 MPa, 25,3 MPa e 27,6 MPa. Esta discrepância pode ser explicada pelo facto de, após a compactação, parte da pasta de cimento migrar para a base dos provetes (Fig.5.4), devido à granulometria muito monótona da areia, aliado ao método de compactação utilizado. Consequentemente e após o ensaio à flexão, resultam duas “fases” no mesmo provete, uma com elevada quantidade de cimento e outra bastante pobre no mesmo.

No que diz respeito à restante amostragem, verifica-se que nas composições cujo agregado é areia normalizada, e como seria expectável, a mistura com traço 1:2,5 apresenta melhores valores quer para a resistência mecânica à flexão quer à compressão. Isto dever-se-á ao facto de esta mistura ser mais rica em cimento.

Quadro 5.3 - Argamassas de cimento CEM I 42.5R - Resistências aos 28 dias com traço em volume e cura na câmara húmida

| Provete (Traço) | Traço em peso obtido | Massa (g) | Resistência Flexão (MPa) | Média (MPa) | Resistência Compressão (MPa) | Média (MPa) |
|-----------------|----------------------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
| CANAP (1:3) | | 589,6 | 5,2 | | 36,2 | 36,5 |
| CANAP (1:3) | (1:4,39) | 582,7 | 5,4 | 5,3 | 34,0 | 35,6 |
| CANAP (1:3) | | 587,4 | 5,2 | | 33,6 | 33,4 |
| CANAP (1:2,5) | | 588,1 | 6,6 | | 44,5 | 44,7 |
| CANAP (1:2,5) | (1:3,66) | 588,4 | 6,1 | 6,3 | 45,7 | 45,7 |
| CANAP (1:2,5) | | 584,9 | 6,1 | | 44,3 | 42,7 |
| CA1 (1:3) | | 531,2 | 3,5 | | 25,3 | 27,6 |
| CA1 (1:3) | (1:4,38) | 521,2 | 3,5 | 3,4 | 20,1 | 25,3 |
| CA1 (1:3) | | 518,1 | 3,3 | | 21,8 | 18,8 |
| CA2 (1:2,5) | | 537,9 | 4,0 | | 29,4 | 26,1 |
| CA2 (1:2,5) | (1:3,71) | 529,5 | 3,5 | 3,9 | 24,3 | 25,4 |
| CA2 (1:2,5) | | 535,7 | 4,2 | | 28,0 | 27,5 |
| CMA (1:3) | | 585,6 | 5,6 | | 37,8 | 37,8 |
| CMA (1:3) | (1:3,77) | 591,5 | 6,1 | 5,9 | 37,4 | 38,1 |
| CMA (1:3) | | 586,6 | 6,1 | | 38,1 | 37,9 |



a) Vista do topo dos três provetes



b) Vista longitudinal do provete



c) Vista transversal do provete

Figura 5.4 – Heterogeneidade observada nos provetes CA1

As amostras CA2, tendo presente o facto do traço utilizado ser 1:2,5, têm resultados para as resistências à flexão e à compressão muito inferiores às amostras CANAP com o mesmo traço. Uma vez mais, isto pode ser explicado devido à monotonia granular da areia utilizada em CA2, que dá origem a uma menor aderência, dado existirem vazios de maior dimensão.

De facto, a resistência à flexão dos provetes CA2 (1:2,5) (3,9 MPa) é 38,1% inferior à dos provetes CANAP (1:2,5) (6,3 MPa). Relativamente à resistência à compressão, os provetes CA2 (1:2,5) apresentam uma resistência ($26,8 \pm 1,9$ MPa) inferior em 39,9% comparativamente com as resistências dos provetes CANAP (1:2,5) ($44,6 \pm 1,1$ MPa).

A resistência à flexão dos provetes CMA (1:3) (5,9 MPa) é 10,2% superior à resistência à flexão dos provetes CANAP (1:3) (5,3 MPa). A resistência à compressão dos provetes CMA (1:3) ($37,9 \pm 0,3$ MPa) é 7,9% superior à resistência à compressão dos provetes CANAP (1:3) ($34,9 \pm 1,4$ MPa). Esta proximidade é resultado, além, da utilização do mesmo traço, da semelhança de granulometrias dos agregados utilizados.

Seguidamente, ir-se-ão comparar os resultados das resistências à flexão e à compressão dos provetes CANAP de traço em peso 1:3 com os provetes CANAP de traço em volume 1:3, o mesmo se sucedendo para os traços em peso e em volume de 1:2,5.

As resistências dos traços em peso são substancialmente superiores às obtidas com os traços em volume, visto que a baridade do cimento (1040 kg/m^3) é inferior à da areia normalizada (1570 kg/m^3) e, além disso, a relação A/C aumenta com o traço em volume.

Assim, para o traço em volume de 1:3 as resistências à flexão e à compressão são menores 29,3% e 42,2%, respetivamente, relativamente às resistências obtidas com o traço em peso de 1:3.

De igual modo, verificam-se diminuições de resistência à flexão e à compressão de 18,2% e 25,0% das resistências com traço em volume de 1:2,5 quando comparadas com as obtidas com traço em peso de 1:2,5.

Os Quadros 5.4 e 5.5 apresentam os valores obtidos para amostras fabricadas a partir de traços em volume fornecidos, cuja cura se deu ao livre. Estas amostras estiveram submetidas a temperaturas médias mínimas de $10,3^\circ\text{C}$ e máximas de $19,1^\circ\text{C}$. Experimentaram igualmente amplitudes térmicas na ordem dos 22°C , tendo a temperatura máxima registada sido de 27°C e a mínima de 5°C .

Quadro 5.4 – Argamassas de cimento CEM I 42.5R - Resistências aos 28 dias com traço em peso e cura ao ar livre

| Proвете (Traço) | Massa (g) | Resistência Flexão (MPa) | Média (MPa) | Resistência Compressão (MPa) | Média (MPa) |
|-----------------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
| CANAD (1:3) | 577,2 | 4,7 | 4,9 | 48,9 | 49,8 |
| CANAD (1:3) | 576,7 | 5,2 | | 48,6 | 49,6 |
| CANAD (1:3) | 574,9 | 4,7 | | 49,4 | 50,1 |
| CANAP (1:3) | 574,6 | 4,5 | 4,8 | 46,9 | 47,6 |
| CANAP (1:3) | 573,7 | 5,2 | | 46,4 | 47,2 |
| CANAP (1:3) | 574,5 | 4,7 | | 46,6 | 48,1 |
| CANAP (1:2,5) | 577,1 | 4,0 | 4,3 | 45,9 | 47,4 |
| CANAP (1:2,5) | 576,1 | 4,7 | | 46,9 | 47,5 |
| CANAP (1:2,5) | 574,2 | 4,2 | | 47,0 | 50,8 |

Poderá começar-se por se estabelecer uma relação entre os Quadros 5.4 e 5.2, pois as amassaduras são as mesmas, bem como o tempo de cura, sendo o único ponto de distinção o tipo de cura.

No que concerne a resistência à flexão aos 28 dias verificou-se entre a cura em câmara húmida e a cura ao ar livre no telhado:

- Nas amostras CANAD (1:3), houve uma diminuição de 2,8 MPa, representando 35,9%;
- Nas amostras CANAP (1:3), observou-se uma diminuição de 2,7 MPa, correspondendo a 36,0%;
- Nas amostras CANAP (1:2,5), constatou-se uma diminuição de 3,4 MPa, representando 44,2%.

Usando o mesmo tipo de comparação, mas para a resistência à compressão aos 28 dias constatou-se:

- Para as amostras CANAD (1:3), verificou-se um decréscimo de 10,5 MPa, o qual representa uma variação de 17,5% (de $59,9 \pm 1,0$ MPa para $49,4 \pm 0,6$ MPa);
- Para as amostras CANAP (1:3), verificou-se um decréscimo de 13,3 MPa, o qual representa uma variação de 22,0% (de $60,4 \pm 0,4$ MPa para $47,1 \pm 0,6$ MPa);
- Para as amostras CANAP (1:2,5), verificou-se um decréscimo de 11,9 MPa, o qual representa uma variação de 20,0% (de $59,5 \pm 1,0$ MPa para $47,6 \pm 1,7$ MPa).

A cura ao ar livre no telhado influenciou negativamente o desempenho das argamassas de cimento, sendo o decréscimo mais acentuado na resistência à flexão relativamente à resistência à compressão e, em ambos os casos, nas amassaduras onde se utilizou água potável. A cura ao ar livre conduziu a uma diminuição média de resistência à compressão aos 28 dias na ordem dos 19,8%, isto é, cerca de 1/5 da resistência em condições de cura na câmara húmida e de 38,7% na resistência à flexão aos 28 dias.

O Quadro 5.5 apresenta os resultados registados para amostras fabricadas a partir de traços em volume, sujeitos a cura ao ar livre no telhado durante 28 dias. De salientar que os provetes encontraram-se sujeitos a temperaturas médias mínimas de 10,3°C e máximas de 19,1°C, experimentando uma amplitude térmica de 22°C.

Comparando entre si os resultados do Quadro 5.5 constata-se que:

- As resistências à flexão e à compressão aumentam dos provetes CANAP (1:3) (5,5 MPa e $38,9 \pm 2,0$ MPa, respetivamente) para os provetes CANAP (1:2,5) (6,2 MPa e $46,8 \pm 3,0$ MPa, respetivamente), o que equivale a aumentos de 12,7% e 20,3%, expectáveis devido ao aumento do teor de cimento;
- As resistências à flexão (4,4 MPa) e à compressão ($27,9 \pm 2,7$ MPa) dos provetes CMA (1:3) são demasiado baixos quando comparados com o dos provetes CANAP (1:3) (5,5 MPa e $38,9 \pm 2,0$ MPa, respetivamente), a que correspondem diminuições de 20,0 % e 28,3%;
- As resistências à flexão (3,7 MPa) e à compressão ($26,1 \pm 1,7$ MPa) dos provetes CA1 (1:3) são, como seria de esperar, menores do que as dos provetes CANAP (1:3) (5,5 MPa e $38,9 \pm 2,0$ MPa, respetivamente), representando diminuições de 32,7 % e 32,9%, mas, contrariamente ao expectável, pouco inferiores às dos provetes CMA (1:3) (4,4 MPa e $27,9 \pm 2,7$ MPa, respetivamente), equivalendo a diminuições de 15,9% e 6,5%;
- Os resultados para a amassadura CA2 (1:2,5), não podem ser considerados válidos, dado que três valores da resistência à compressão (21,9 MPa, 28,9 MPa e 29,1 MPa) diferem mais de 10% ou mais da média (25,8 MPa). A justificação possível será novamente a tipologia da compactação adotada, aliada à granulometria pouco extensa da areia, provocando a migração da pasta de cimento para a base dos provetes.

Quadro 5.5 - Resistências à flexão e à compressão aos 28 dias de argamassas de cimento CEM I 42.5R com traço em volume e cura ao ar livre no telhado

| Provete (Traço) | Traço em peso obtido | Massa (g) | Resistência Flexão (MPa) | Média (MPa) | Resistência Compressão (MPa) | Média (MPa) |
|-----------------|----------------------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
| CANAP (1:3) | | 573,3 | 5,9 | | 37,3 | 40,6 |
| CANAP (1:3) | (1:4,39) | 569,9 | 5,4 | 5,5 | 37,8 | 42,1 |
| CANAP (1:3) | | 573,2 | 5,2 | | 37,4 | 38,3 |
| CANAP (1:2,5) | | 576,3 | 5,9 | | 43,6 | 50,3 |
| CANAP (1:2,5) | (1:3,66) | 578,9 | 6,3 | 6,2 | 44,3 | 49,8 |
| CANAP (1:2,5) | | 579,4 | 6,3 | | 44,5 | 48,2 |
| CA1 (1:3) | | 505,4 | 3,3 | | 25,3 | 28,1 |
| CA1 (1:3) | (1:4,38) | 512,9 | 4,0 | 3,7 | 23,8 | 28,1 |
| CA1 (1:3) | | 503,7 | 3,8 | | 26,1 | 26,3 |
| CA2 (1:2,5) | | 513,7 | 4,0 | | 23,6 | 28,9 |
| CA2 (1:2,5) | (1:3,71) | 514,2 | 3,8 | 4,0 | 21,9 | 27,6 |
| CA2 (1:2,5) | | 523,7 | 4,2 | | 23,8 | 29,2 |
| CMA (1:3) | | 550,5 | 4,5 | | 26,4 | 30,7 |
| CMA (1:3) | (1:3,77) | 543,5 | 4,5 | 4,4 | 25,3 | 29,9 |
| CMA (1:3) | | 539,9 | 4,2 | | 24,9 | 30,2 |

Começando pela análise comparativa entre os Quadro 5.5 e 5.3, onde apenas diverge o tipo de cura, podem-se retirar as seguintes ilações:

- Existiram aumentos não expectáveis de resistências à compressão para as argamassas CANAP (1:3) e CANAP (1:2,5) (5,9%). Não se puderam comparar os valores de CA1 (1:3) e CA2 (1:2,5) dado os primeiros não terem sido válidos no Quadro 5.3 e os segundos no Quadro 5.5.
- Verificou-se igualmente um decréscimo residual de resistência para a amostra CA2 (1:2,5);
- Por último, verificou-se um decréscimo acentuado de resistência à compressão para as amostras CMA (1:3) na ordem dos 10,0 MPa, que representa uma variação de 26,4% em relação à resistência obtida após cura em câmara húmida.

Em suma, os resultados podem-se considerar aquém do que seria expectável, devido aos incrementos de resistências em alguns dos casos. Estes incrementos, unicamente influenciados pelo tipo de cura adotado, poderão ser explicados devido aos diferentes fluxos de água, afetados pelas diversas porosidades, que poderão ter influenciado as reações de hidratação do cimento.

Partindo agora para a análise comparativa entre os Quadros 5.4 e 5.5, onde o único ponto de distinção é o tipo de traço utilizado, podem retirar-se as seguintes conclusões:

- Em ambos os provetes a comparar CANAP (1:3) e CANAP (1:2,5), verificaram-se decréscimos de resistência à compressão aos 28 dias, respetivamente de 8,2 MPa (17,4%) e 0,8 MPa (1,7%) entre o traço em peso e o traço em volume;
- No que concerne a resistência à flexão aos 28 dias, para as mesmas amostras observaram-se, contrariamente ao que seria de esperar, aumentos de 0,7 MPa (14,6%) e 1,9 MPa (44,2%) entre o traço em peso e traço em volume.

A Figura 5.5 compara os valores obtidos em todos os ensaios realizados em provetes cujo ligante utilizado foi o cimento CEM I 42.5R.

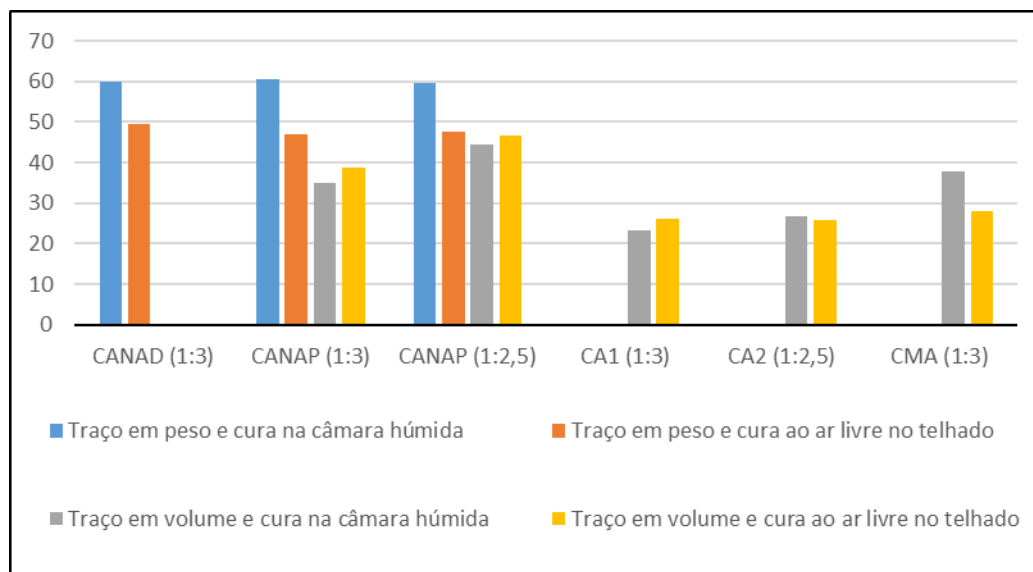


Figura 5.5 – Argamassas de cimento CEM I 42.5R - Valores obtidos para o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias

5.1.5. RESULTADOS – ARGAMASSAS DE CAL HIDRÁULICA HL5

Os Quadros 5.6 e 5.7 apresentam os resultados obtidos para as resistências mecânicas em provetes cujo ligante utilizado foi a cal hidráulica HL5, apresentando-se os valores médios e os respetivos desvios padrão.

Pela análise do Quadro 5.6 podem retirar-se as seguintes ilações:

- A utilização de água potável (HLANAP (1:3)) ou água destilada (HLANAD (1:3)) na amassadura não introduz nenhuma diferença significativa no que diz respeito às resistências mecânicas;
- A modificação do traço (HLANAP (1:3) e HLANAP (1:2,5)), com o consequente aumento da percentagem de ligante, utilizando-se o mesmo tipo de água de amassadura, também não provoca quaisquer alterações no desempenho mecânico dos provetes.

Salienta-se o facto de os resultados obtidos serem bastante satisfatórios, pelo que o valor dos respetivos desvios padrão são baixos, indicando uma excelente homogeneidade da amostra.

Quadro 5.6 – Argamassas de cal hidráulica HL5 - Resistências aos 28 dias com traço em peso e cura na câmara húmida

| Provete (Traço) | Massa (g) | Resistência Flexão (MPa) | Média (MPa) | Resistência Compressão (MPa) | | Média (MPa) |
|-----------------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------------|-----|-------------|
| HLANAD (1:3) | 560,4 | 1,9 | 1,9 | 8,6 | 8,6 | 8,5 ± 0,1 |
| HLANAD (1:3) | 571,7 | 1,8 | | 8,5 | 8,4 | |
| HLANAD (1:3) | 568,2 | 1,9 | | 8,6 | 8,4 | |
| HLANAP (1:3) | 563,9 | 1,9 | 1,9 | 8,7 | 8,7 | 8,4 ± 0,3 |
| HLANAP (1:3) | 560,3 | 1,9 | | 8,4 | 8,4 | |
| HLANAP (1:3) | 568,0 | 1,9 | | 8,1 | 8,2 | |
| HLANAP (1:2,5) | 560,5 | 2,0 | 1,9 | 8,4 | 8,6 | 8,4 ± 0,1 |
| HLANAP (1:2,5) | 561,4 | 1,9 | | 8,4 | 8,3 | |
| HLANAP (1:2,5) | 561,4 | 1,9 | | 8,3 | 8,3 | |

Quadro 5.7 - Argamassas de cal hidráulica HL5 - Resistências aos 28 dias com traço em volume e cura na câmara húmida

| Provete (Traço) | Traço em peso obtido | Massa (g) | Resistência Flexão (MPa) | Média (MPa) | Resistência Compressão (MPa) | | Média (MPa) |
|-----------------|----------------------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------------|-----|-------------|
| HLANAP (1:3) | (1:5,70) | 559,0 | 0,8 | 0,8 | 2,4 | 2,2 | 2,3 ± 0,2 |
| HLANAP (1:3) | | 553,1 | 0,7 | | 2,5 | 2,4 | |
| HLANAP (1:3) | | 560,3 | 0,8 | | 2,0 | 2,3 | |
| HLANAP (1:2,5) | (1:4,38) | 565,3 | 1,1 | 1,0 | 3,0 | 2,9 | 3,0 ± 0,1 |
| HLANAP (1:2,5) | | 563,7 | 1,0 | | 2,9 | 3,1 | |
| HLANAP (1:2,5) | | 564,8 | 1,0 | | 2,9 | 2,9 | |
| HLA1 (1:3) | (1:5,19) | 518,1 | 0,8 | 0,8 | 2,4 | 2,5 | 2,3 ± 0,2 |
| HLA1 (1:3) | | 505,5 | 0,8 | | 2,2 | 2,1 | |
| HLA1 (1:3) | | 504,4 | 0,8 | | 2,1 | 2,3 | |
| HLA2 (1:2,5) | (1:4,22) | 509,2 | 0,9 | 0,9 | 2,9 | 3,0 | 2,9 ± 0,1 |
| HLA2 (1:2,5) | | 508,2 | 0,8 | | 2,9 | 2,7 | |
| HLA2 (1:2,5) | | 514,2 | 1,1 | | 2,9 | 2,9 | |
| HLMA (1:3) | (1:4,11) | 548,0 | 1,1 | 1,1 | 2,9 | 3,0 | 2,9 ± 0,1 |
| HLMA (1:3) | | 548,2 | 1,1 | | 2,9 | 2,8 | |
| HLMA (1:3) | | 552,5 | 1,1 | | 2,9 | 3,0 | |

O Quadro 5.7 permite concluir que:

- A alteração do traço em volume de 1:3 nos provetes HLANAP (1:3) para 1:2,5 nos provetes HLANAP (1:2,5) provocaram aumentos nos valores das resistências mecânicas obtidas. Para as amostras HLANAP (1:2,5) o aumento foi de 25,0% para a resistência à flexão e de 30,4% para resistência à compressão.
- As resistências dos provetes HLA1 (1:3) são exatamente iguais às obtidas nos provetes HLANAP (1:3);
- As resistências dos provetes HLMA (1:3) em que se utilizou a meia areia são superiores às obtidas com os provetes HLANAP (1:3) em que se utilizou a areia normalizada (37,5% para a resistência à flexão e 26,1% para resistência à compressão);
- Os provetes HLA2 (1:2,5) exibiram resistências um pouco inferiores às dos provetes HLANAP (1:2,5) (redução de 10,0% para a resistência à flexão e 3,3% para resistência à compressão);
- No que diz respeito às argamassas com as areias lavadas e monitorizadas, A1 (HLA1 (1:3)) e A2 (HLA2 (1:2,5)), há um aumento na resistência à flexão de 12,5% e na resistência à compressão de 26,1% com o aumento do teor de ligante (1:3 para 1:2,5), como seria aliás de esperar.

Com o propósito de avaliar a influência dos traços em peso e em volume nas resistências mecânicas das argamassas de cal hidráulica HL5, analisaram-se comparativamente os Quadros 5.6 e 5.7 que possibilitaram a formulação das seguintes conclusões:

- A alteração do traço em peso para traço em volume nos provetes HLANAP (1:3) e provetes HLANAP (1:2,5) provocaram reduções significativas nos valores das resistências mecânicas;
- A diminuição da resistência à flexão foi de 1,1 MPa na argamassa HLANAP (1:3) e de 1,2 MPa na argamassa HLANAP (1:2,5), o que corresponde respetivamente a menos 57,9% e 54,5% quando se compara a resistência das argamassas com traço em volume com as de traço em peso numericamente igual;
- A diminuição da resistência à compressão é muito acentuada, registando-se uma perda de 7,6 MPa (76,8%) na argamassa HLANAP (1:3) e de 6,7 MPa (69,1%) na argamassa HLANAP (1:2,5), quando se comparam também as resistências das argamassas com traço em volume relativamente às de traço em peso numericamente igual.

Estes resultados traduzem bem a influência do teor de ligante, uma vez que as argamassas com traço em volume numericamente igual ao traço em peso são muito mais pobres em termos de ligante utilizado.

O Quadro 5.8 apresenta as resistências à flexão e à compressão aos 28 dias de provetes de argamassa de cal hidráulica HL5 com traço em peso e sujeitos a cura ao ar livre. Durante o período de 28 dias, as amostras estiveram sujeitas a temperaturas médias mínimas de 10,7°C e máximas de 19,7°C, experimentando uma amplitude térmica de 22°C (entre 5°C e 27°C).

A partir da análise do Quadro 5.8 constata-se que:

- A utilização de água potável nos provetes HLANAP (1:3) fez diminuir respetivamente em 13,6% e 3,9% as resistências à flexão e à compressão, relativamente aos provetes HLANAD (1:3) em que se utilizou água destilada na amassadura;
- Contrariamente ao que seria de esperar, a resistência à compressão diminuiu 2,0% quando o traço passou de 1:3 (HLANAP (1:3)) para 1:2,5 (HLANAP (1:2,5)), por oposição à resistência à flexão que aumentou 15,8%.

Quadro 5.8 – Argamassas de cal hidráulica HL5 - Resistência aos 28 dias com traço em peso e cura ao ar livre no telhado

| Provete (Traço) | Massa (g) | Resistência Flexão (MPa) | Média (MPa) | Resistência Compressão (MPa) | Média (MPa) |
|-----------------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
| HLANAD (1:3) | 533,6 | 2,0 | 2,2 | 10,1 | 10,3 |
| HLANAD (1:3) | 530,9 | 2,8 | | 10,1 | 10,9 |
| HLANAD (1:3) | 531,4 | 1,8 | | 10,1 | 10,4 |
| HLANAP (1:3) | 529,3 | 2,3 | 1,9 | 9,4 | 10,1 |
| HLANAP (1:3) | 529,2 | 2,0 | | 9,6 | 10,1 |
| HLANAP (1:3) | 527,5 | 1,4 | | 9,8 | 10,1 |
| HLANAP (1:2,5) | 520,1 | 2,3 | 2,2 | 9,4 | 10,2 |
| HLANAP (1:2,5) | 521,3 | 2,1 | | 9,6 | 10,1 |
| HLANAP (1:2,5) | 522,4 | 2,3 | | 9,1 | 9,8 |

Comparando os valores presentes nos Quadros 5.6 e 5.8, com traços em peso, mas curas distintas, é possível retirar as seguintes ilações:

- A resistência à compressão aos 28 dias aumentou com a cura ao ar livre no telhado relativamente à cura em câmara húmida, em 1,8 MPa (21,2%) nos provetes HLANAD (1:3), 1,5 MPa (17,9%) nos provetes HLANAP (1:3) e 1,3 MPa (15,5%) nos provetes HLANAP (1:2,5);
- A resistência à flexão não variou nos provetes HLANAP (1:3) e aumentou 0,3 MPa (15,8%) nos provetes HLANAD (1:3) e HLANAP (1:2,5).

O Quadro 5.9 apresenta os resultados das resistências mecânicas aos 28 dias dos provetes de cal hidráulica HL5 com traços em volume e com cura ao ar livre. Note-se ainda para o facto, de que durante a cura, os provetes estiveram sujeitos a uma temperatura média mínima de 10,3°C, uma temperatura média máxima de 19,0°C e sujeitos a uma amplitude térmica máxima de 22°C, tendo sido a temperatura máxima registada de 27°C e a mínima de 5°C.

Os resultados constantes no Quadro 5.9 mostram que:

- As resistências à compressão e à flexão aumentam com o teor de ligante, dado verificar-se um aumento de 0,7 MPa (22,9%) na resistência à compressão entre os provetes HLANAP (1:3) e HLANAP (1:2,5) e um aumento de 0,2 MPa (25,0%) na resistência à flexão;
- Nos provetes em que se utilizou a areia lavada e monitorizada A2 (HLA2 (1:2,5)), a resistência à compressão é superior em 0,5 MPa (17,9%) relativamente à resistência à compressão nos provetes em que se usou a areia lavada e monitorizada A1 (HLA1 (1:3)), não se registando variações na resistência à flexão entre os dois tipos de provetes;
- A resistência à compressão nos provetes HLMA (1:3), em que se utilizou a meia areia, é 0,3 MPa (12,5%) superior comparativamente com a dos provetes HLANAP (1:3) em que se utilizou o mesmo traço em volume 1:3.

Quadro 5.9 – Argamassas de cal hidráulica HL5 - resistências aos 28 dias com traço em volume e cura ao ar livre no telhado

| Provete (Traço) | Traço em peso obtido | Massa (g) | Resistência Flexão (MPa) | Média (MPa) | Resistência Compressão (MPa) | Média (MPa) |
|-----------------|----------------------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
| HLANAP (1:3) | | 514,4 | 0,9 | | 2,1 | 2,4 |
| HLANAP (1:3) | (1:5,70) | 514,2 | 0,7 | 0,8 | 2,2 | 2,5 |
| HLANAP (1:3) | | 516,0 | 0,7 | | 2,3 | 2,7 |
| HLANAP (1:2,5) | | 517,3 | 1,1 | | 2,8 | 3,3 |
| HLANAP (1:2,5) | (1:4,38) | 516,1 | 1,1 | 1,0 | 3,0 | 3,3 |
| HLANAP (1:2,5) | | 516,1 | 0,7 | | 3,1 | 3,3 |
| HLA1 (1:3) | | 467,3 | 0,8 | | 2,7 | 3,0 |
| HLA1 (1:3) | (1:5,19) | 459,7 | 0,8 | 0,8 | 2,6 | 3,0 |
| HLA1 (1:3) | | 455,6 | 0,7 | | 2,5 | 3,0 |
| HLA2 (1:2,5) | | 455,9 | 0,8 | | 3,0 | 3,5 |
| HLA2 (1:2,5) | (1:4,22) | 456,3 | 0,9 | 0,8 | 3,1 | 3,4 |
| HLA2 (1:2,5) | | 466,9 | 0,8 | | 3,1 | 3,7 |
| HLMA (1:3) | | 485,8 | 0,7 | | 2,5 | 2,9 |
| HLMA (1:3) | (1:4,11) | 486,4 | 0,8 | 0,8 | 2,5 | 2,9 |
| HLMA (1:3) | | 491,6 | 0,8 | | 2,5 | 3,1 |

Através da análise do mesmo quadro, podem considerar-se, uma vez mais, os resultados como satisfatórios, verificando-se valores aceitáveis obtidos para o desvio padrão, confirmando-se assim uma boa homogeneidade da amostra ensaiada.

As argamassas envolvidas nos Quadros 5.7 e 5.9 exibem os mesmos traços em volume, diferindo no tipo de cura. Comparando os resultados conclui-se que:

- A resistência à flexão aos 28 dias permaneceu igual nos provetes HLANAP (1:3), HLANAP (1:2,5) e HLA1 (1:3), sendo apenas 0,1 MPa (12,5%) superior nos provetes HLA2 (1:2,5) e 0,3 MPa maior (37,5%) nos provetes HLMA (1:3) com cura em câmara húmida relativamente à cura ao ar livre no telhado;
- A resistência à compressão aos 28 dias é ligeiramente maior (0,1 MPa) quando a cura é ao ar livre relativamente à cura em câmara húmida nos provetes HLANAP (1:3) e HLANAP (1:2,5), correspondendo respetivamente a variações de 4,3% e 3,3%;
- A resistência à compressão aos 28 dias é um pouco superior quando a cura é ao ar livre no telhado relativamente à cura em câmara húmida nos provetes HLA1 (1:3) e HLA2 (1:2,5) com variações respetivamente de 0,5 MPa (21,7%) e 0,4 MPa (13,8%);

- A resistência à compressão aos 28 dias nos provetes HLMA (1:3) tem um comportamento oposto, sendo um pouco inferior (0,2 MPa - 6,9%) quando a cura é ao ar livre no telhado comparativamente à cura em câmara húmida.

Poderá ser realizada, por fim, uma análise entre os Quadros 5.8 e 5.9, nos quais as amostras se encontraram sujeitas às mesmas condições de cura, mas fabricadas a partir de traços diferentes. Verifica-se que, a alteração de traço em peso para volume, implicou uma descida bastante acentuada em termos de resistências. Isto poderá, em parte, ser justificado pelo baixo valor da baridade da cal hidráulica, de que resulta uma muito baixa dosagem em peso do ligante quando o traço em volume é numericamente igual ao traço em peso. As diferenças registadas foram as seguintes:

- A resistência à compressão dos provetes HLANAP (1:3) e HLANAP (1:2,5) diminuíram respetivamente 7,9 MPa (76,7%) e 6,2 MPa (62,6%) quando se comparam as resistências com os traços em volume numericamente iguais aos traços em peso;
- A resistência à flexão dos provetes HLANAP (1:3) e HLANAP (1:2,5) diminuíram respetivamente 1,4 MPa (63,6%) e 0,9 MPa (47,4%) quando se comparam as resistências com os traços em volume numericamente iguais aos traços em peso;

A Figura 5.6 sumariza todos os valores obtidos para a resistência à compressão em todas as amostras onde a cal hidráulica HL5 foi o ligante escolhido.

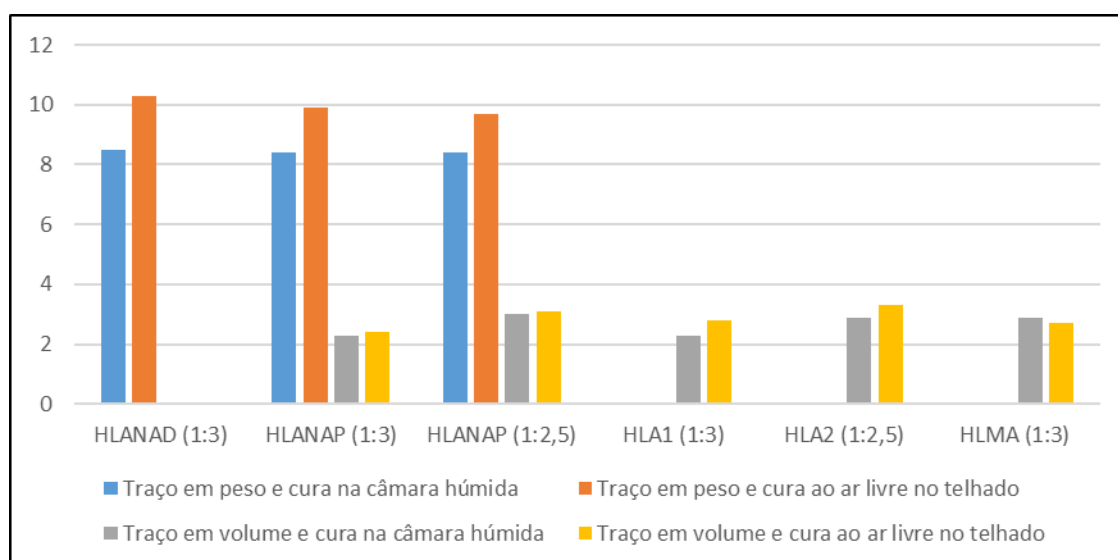


Figura 5.6 – Argamassas de cal hidráulica HL5 - Valores obtidos para o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias

5.1.6. RESULTADOS – ARGAMASSAS PRONTAS D. FRADIQUE

Os Quadros 5.10, 5.11 e 5.12 apresentam os resultados obtidos para os ensaios de resistência mecânica em provetes de argamassas prontas sujeitos a três tipos de cura distintos: aos 28 dias em câmara húmida, mas não submersos em água (Quadro 5.10); aos 28 dias ao ar livre no telhado (Quadro 5.11); aos 60 dias no interior de uma sala do LEMC com temperaturas compreendidas entre os 18°C e os 23°C (Quadro 5.12).

De realçar que os provetes expostos ao ar livre se encontraram sujeitos a temperaturas médias na ordem dos 10,2°C de temperatura mínima e 18,8°C de temperatura máxima. Além disso, encontraram-se igualmente sujeitos a uma amplitude térmica de 22°C, sendo a temperatura máxima registada de 27°C e a mínima de 5°C.

Quadro 5.10- Argamassas prontas - Resistência aos 28 dias com cura em câmara húmida, mas não submersas em água

| Proвете | Massa (g) | Resistência Flexão (MPa) | Média (MPa) | Resistência Compressão (MPa) | | Média (MPa) |
|---------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------------|-----|-------------|
| APDF 1 | 529,4 | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,4 | 0,4 ± 0,0 |
| APDF 1 | 529,4 | 0,1 | | 0,3 | 0,4 | |
| APDF 1 | 525,4 | 0,1 | | 0,4 | 0,4 | |
| APDF 2 | 536,2 | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 0,6 | 0,6 ± 0,1 |
| APDF 2 | 537,2 | 0,2 | | 0,6 | 0,6 | |
| APDF 2 | 536,6 | 0,2 | | 0,4 | 0,6 | |

Quadro 5.11 –Argamassas prontas - Resistência aos 28 dias com cura ao ar livre no telhado

| Proвете | Massa (g) | Resistência Flexão (MPa) | Média (MPa) | Resistência Compressão (MPa) | | Média (MPa) |
|---------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------------|-----|-------------|
| APDF 1 | 472,4 | 0,3 | 0,3 | 0,9 | 1,2 | 1,1 ± 0,1 |
| APDF 1 | 470,8 | 0,3 | | 1,0 | 1,2 | |
| APDF 1 | 471,6 | 0,3 | | 1,0 | 1,2 | |
| APDF 2 | 477,6 | 0,6 | 0,6 | 1,4 | 1,5 | 1,5 ± 0,1 |
| APDF 2 | 486,1 | 0,6 | | 1,4 | 1,6 | |
| APDF 2 | 487,9 | 0,6 | | 1,5 | 1,7 | |

O Quadro 5.10 mostra que os provetes tiveram desempenhos bastante insatisfatórios no que ao valor das resistências diz respeito. Poderá então realizar-se uma primeira análise comparativa, entre provetes submetidos às mesmas condições de cura. Para provetes sujeitos a cura em câmara húmida, verificou-se uma boa homogeneidade da amostra, apoiada pelos valores obtidos para o desvio padrão. Em termos de resistência, tanto à flexão como à compressão, constata-se que provetes com a adição do aditivo pozolânico 2 apresentaram melhor desempenho, quando comparados com amostras com adição do aditivo pozolânico 1.

Uma vez mais, e após análise do Quadro 5.11 verifica-se que os provetes com adição do aditivo pozolânico 2 apresentaram desempenhos muito superiores por comparação com os executados com adição do aditivo pozolânico 1. Constata-se igualmente um aumento significativo de resistência em relação aos provetes sujeitos a cura em câmara húmida. Para amostras com adição do aditivo pozolânico

1 regista-se um aumento de 200% para resistência à flexão e de 175% para a resistência à compressão. Paralelamente, verificou-se um aumento de resistência à flexão de 200%, e de 150% para a resistência à compressão para amostras com o aditivo pozolânico 2.

Quadro 5.12 – Argamassa pronta – Resistência aos 60 dias com cura ao ar livre no interior do LEMC

| Provete | Massa (g) | Resistência Flexão (MPa) | Média (MPa) | Resistência Compressão (MPa) | Média (MPa) |
|---------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
| APDF 1 | 472,7 | 0,4 | 0,4 | 1,6 | 1,7 |
| APDF 1 | 472,7 | 0,4 | | 1,6 | 1,7 |
| APDF 1 | 471,7 | 0,4 | | 1,7 | 1,8 |
| APDF 1 | 466,0 | 0,4 | | 1,3 | 1,4 |
| APDF 1 | 469,7 | 0,3 | | 1,4 | 1,4 |
| APDF 1 | 469,5 | 0,3 | | 1,4 | 1,4 |
| APDF 2 | 486,5 | 0,8 | 0,7 | 2,2 | 2,4 |
| APDF 2 | 488,5 | 0,8 | | 2,2 | 2,5 |
| APDF 2 | 483,8 | 0,8 | | 2,3 | 2,5 |
| APDF 2 | 484,6 | 0,5 | | 2,1 | 2,2 |
| APDF 2 | 484,2 | 0,7 | | 2,2 | 2,2 |
| APDF 2 | 482,3 | 0,6 | | 2,2 | 2,3 |

A leitura do Quadro 5.12 confirma os resultados verificados nos Quadros 5.10 e 5.11 no que alude ao comportamento das duas argamassas prontas com aditivos pozolânicos distintos. Efetivamente, a argamassa com aditivo pozolânico 2 (APDF 2) tem resistência à flexão superior em 0,3 MPa (75,0%) e resistência à compressão superior 0,8 MPa (53,3%), em relação à argamassa com aditivo pozolânico 1 (APDF 1).

Os valores exibidos nos Quadros 5.10, 5.11 e 5.12 são baixos, mas coerentes entre si, exibindo desvios padrão baixos.

Analisando sequencialmente os Quadros 5.11 e 5.12 com o Quadro 5.10, constata-se os seguintes aumentos sucessivos das resistências à flexão e compressão:

- A resistência à flexão aumenta de 0,2 MPa (200%) e 0,3 MPa (300%) e a resistência à compressão 0,7 MPa (175%) e 1,1 MPa (275%) para a argamassa APDF 1;
- A resistência à flexão aumenta de 0,4 MPa (200%) e 0,5 MPa (250%) e a resistência à compressão 0,9 MPa (150%) e 1,7 MPa (283%) para a argamassa APDF 2.

A Figura 5.7 sumariza todos os valores obtidos para a resistência à compressão em todas as amostras fabricadas com argamassa pronta combinadas com os aditivos pozolânicos 1 e 2, sujeitos aos três tipos de cura distintos.

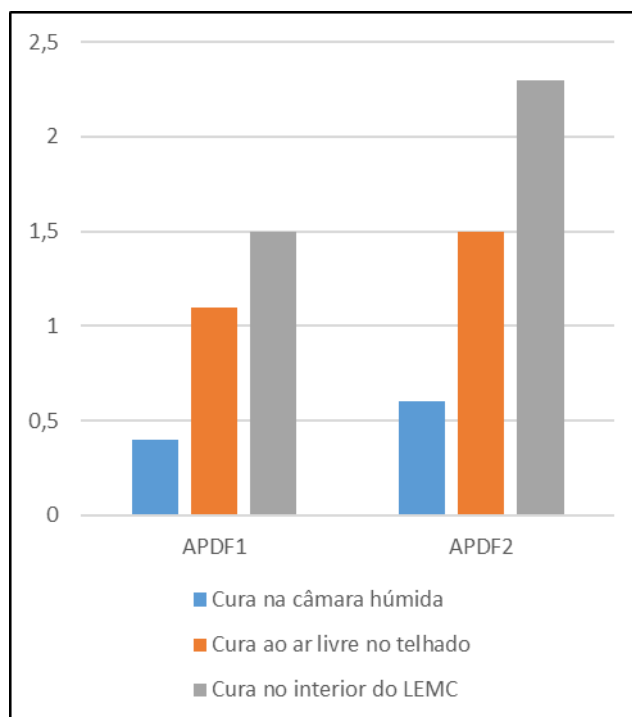


Figura 5.7 – Argamassas prontas - Valores obtidos para o ensaio de resistência à compressão com três tipos de cura

5.1.7. RESULTADOS – ARGAMASSA DE CAL AÉREA EM PASTA

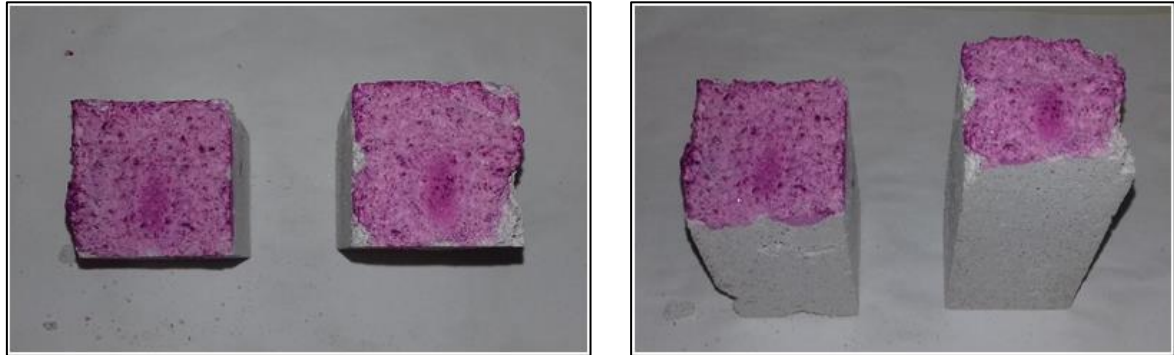
O Quadro 5.13 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de resistência mecânica realizados em provetes de cal aérea. Os mesmos foram fabricados utilizando-se um traço em volume de 1:3, sendo o agregado a meia areia. Os provetes estiveram em processo de cura durante 60 dias, expostos ao ar, no interior de uma sala do LEMC.

Quadro 5.13 – Argamassa de cal aérea - Resistência aos 60 dias com cura ao ar livre no interior do LEMC

| Provete (Traço) | Massa (g) | Resistência Flexão (MPa) | Média (MPa) | Resistência Compressão (MPa) | | Média (MPa) |
|-----------------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------------|-----|-------------|
| PASTA (1:3) | 436,0 | 0,5 | 0,5 | 1,6 | 1,6 | 1,7 ± 0,1 |
| PASTA (1:3) | 433,5 | 0,6 | | 1,6 | 1,7 | |
| PASTA (1:3) | 432,6 | 0,5 | | 1,6 | 1,8 | |
| PASTA (1:3) | 434,2 | 0,5 | | 1,6 | 1,7 | |

Pela análise dos resultados, os mesmos podem ser considerados satisfatórios devido à sua baixa dispersão, suportada pelo baixo desvio padrão. Os valores obtidos, apesar de bastante reduzidos, encontram-se dentro do expectável. As resistências à flexão e à compressão são reduzidas, mas dentro da gama de valores normais para este tipo de argamassas.

Como já referido anteriormente, o dióxido de carbono desempenha um papel fundamental no processo de ganho de presa da cal aérea, pelo que, se aplicou uma solução de fenolftaleína a uma secção transversal interior de um dos provetes após a rotura, para se avaliar a profundidade de carbonatação. A fenolftaleína é um indicador de pH incolor, que altera a sua cor para rosa ou carmim, em superfícies onde o pH esteja compreendido respetivamente entre 8,0 e 10,0 ou 10,0 e 12,0. Sabe-se que a carbonatação provoca uma diminuição do Ph para valores próximos de 9, tornando-o básico. A Figura 5.8 mostra os provetes após a aplicação da solução de fenolftaleína.



a) Vista superior do provete após aplicação da solução de fenolftaleína b) Vista superior e lateral após a aplicação da solução de fenolftaleína

Figura 5.8 – Argamassas de cal aérea - Provetes após a aplicação da solução de fenolftaleína

Após a aplicação da solução de fenolftaleína, verificou-se uma alteração da superfície para carmim, o que indica um pH básico acima de 10,0, evidenciando a baixa ou nula profundidade de carbonatação, o que condiciona negativamente o seu desempenho na resistência.

5.2. ENSAIO DE POROSIDADE LIVRE ÀS 48 HORAS

5.2.1. CONCEITO DE POROSIDADE

A porosidade de um determinado sólido pode ser sucintamente definida como a razão entre o volume de vazios e o volume total desse sólido. Esta é fortemente influenciada pela tipologia e grau de ligação da rede porosa, onde se podem destacar 3 tipos distintos de poros:

- Cegos, que não tem qualquer tipo de ligação à rede porosa;
- Abertos, que se encontram interligados à rede, e próximo da superfície;
- Interligados, que se encontram no interior do sólido e bem ligados com a restante rede porosa.

A porosidade é muito influenciada pelo tipo de material (rocha ou argamassa) e grau de meteorização e/ou deterioração da pedra.

Dependendo do objetivo que se pretende alcançar, podem calcular-se a porosidade total (N_t) ou a porosidade livre às 48h (N_{48}). A primeira relaciona o volume total de vazios (V_v) com o volume total da rocha (V_T) sob condições de pressão em vácuo, conforme a expressão 5.3 seguinte:

$$N_t = \frac{V_v}{V_T} \quad (5.3)$$

Porém, no estudo de edifícios e monumentos construídos em pedra, é mais apropriado a determinação da porosidade livre às 48h. De facto, neste tipo de edifícios, a entrada de água realiza-se maioritariamente sem pressão, como é o caso da ascensão capilar, pelo que a porosidade que influencia os fenómenos de deterioração da pedra é a porosidade livre, a qual é obtida em condições de pressão e temperatura normais, conforme a expressão 5.4:

$$N_{48} = \frac{W_{48} - W_0}{V} \quad (5.4)$$

Onde:

W_0 – peso dos provetes secos, em g;

W_{48} - peso dos provetes após período de imersão gradual durante 48h, em g;

V – Volume total do sólido, em cm^3 .

5.2.2. METODOLOGIA DE ENSAIO

Começou-se por secar todos os provetes em estufa, a uma temperatura de 60°C , até estes atingirem massa constante. Após se atingir a mesma, os provetes foram colocados em recipientes e preenchidos até aproximadamente um quarto da sua altura com água destilada (Fig.5.9a). Passados 60 minutos, foi adicionada mais água destilada até se perfazer cerca de metade da altura dos provetes (Fig.5.9b). Decorridas 24h após o início do ensaio, foi novamente acrescentada água destilada até uma altura de 2cm acima do topo dos provetes (Fig. 5.9c). Quarenta e oito horas após o início do ensaio, os provetes foram tirados dos recipientes, removido o excesso de água da superfície e pesados.



a) Provetes submersos até $\frac{1}{4}$ da altura

b) Provetes submersos até meia altura

c) Provetes totalmente submersos

Figura 5.9 – Diferentes etapas do ensaio para a determinação da porosidade livre às 48h

5.2.3. RESULTADOS – ARGAMASSAS DE CIMENTO CEM I 42,5R

O Quadro 5.14 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de porosidade livre às 48 horas para os provetes de argamassa CA1 (areia A1 e traço em volume 1:3), CA2 (areia A2 e traço em volume 1:2,5) e CMA (meia areia e traço em volume 1:3) cujo ligante utilizado foi o cimento CEM I 42,5R, após um período de cura de 28 dias em ambiente do laboratório.

Quadro 5.14 – Argmassas de cimento CEM I 42,5R –Resultados obtidos para a porosidade livre às 48h

| Proвете | Diâmetro (cm) | Altura (cm) | Volume (cm ³) | Peso seco (g) | Peso saturado (g) | N ₄₈ (%) | N ₄₈ médio (%) |
|---------|---------------|-------------|---------------------------|---------------|-------------------|---------------------|---------------------------|
| CA1 1 | 4,495 | 6,146 | 97,481 | 181,04 | 195,17 | 14,50 | 14,32 ± 0,37 |
| CA1 2 | 4,533 | 6,143 | 99,088 | 181,59 | 196,19 | 14,73 | |
| CA1 3 | 4,413 | 6,279 | 95,990 | 177,82 | 191,43 | 14,18 | |
| CA1 4 | 4,541 | 6,091 | 98,596 | 180,16 | 193,85 | 13,88 | |
| CA2 1 | 4,461 | 6,118 | 95,575 | 177,61 | 191,07 | 14,08 | 14,21 ± 0,09 |
| CA2 2 | 4,547 | 6,150 | 99,815 | 188,14 | 202,36 | 14,25 | |
| CA2 3 | 4,476 | 6,128 | 96,376 | 179,33 | 193,01 | 14,19 | |
| CA2 4 | 4,530 | 6,146 | 99,005 | 186,52 | 200,68 | 14,30 | |
| CMA 1 | 4,541 | 6,030 | 97,609 | 195,11 | 213,39 | 18,73 | 18,65 ± 0,34 |
| CMA 2 | 4,589 | 6,185 | 102,246 | 197,92 | 216,53 | 18,20 | |
| CMA 3 | 4,578 | 6,072 | 99,897 | 195,83 | 214,47 | 18,66 | |
| CMA 4 | 4,553 | 6,081 | 98,956 | 195,38 | 214,20 | 19,02 | |

A porosidade livre às 48 h é semelhante para os provetes CA1 e CA2 onde foram utilizadas as areias lavadas e monitorizadas A1 e A2, apesar de apresentarem granulometrias distintas. Os provetes onde foi utilizada a meia areia apresentam porosidades mais elevadas apesar de a mesma apresentar uma granulometria mais completa.

Nos provetes onde se empregou a areia A1, verifica-se um valor médio para a porosidade livre às 48 horas de 14,32%, associado a um desvio padrão baixo com o valor de 0,37%.

Nos provetes onde se utilizou a areia A2, denota-se um valor médio para a porosidade livre às 48 horas de 14,21%, associado a um desvio padrão baixo de 0,09%.

Por fim, nos provetes onde foi utilizada a meia areia, observa-se um valor médio para a porosidade livre às 48h de 18,65%, com um desvio padrão baixo na ordem dos 0,34%.

Os resultados obtidos, apesar de poderem ser considerados satisfatórios pela sua baixa dispersão, poderão ser alvo de discussão devido à grandeza dos valores obtidos.

Sousa (2009) determinou a porosidade livre às 48h em provetes de diversos tipos de argamassas (Quadro 5.15).

Apesar de, em comparação com valores obtidos por outros autores, os resultados apresentarem grandezas semelhantes, seria expectável que para os provetes onde se utilizou meia areia, a porosidade fosse menor do que nos provetes onde foram utilizadas as restantes areias. Isto poderia justificar-se pelo

facto de tanto a areia A1 como A2 apresentarem curvas granulométricas bastante monótonas, com ausência de determinadas frações, o que conduziria a um maior volume de vazios e, consequentemente, um maior valor de N_{48} .

Quadro 5.15 – Porosidade livre às 48h em provetes de argamassas (Sousa, 2009)

| Amostra | Ligante | N_{48} médio (%) |
|-----------------------------|--|--------------------|
| Provetes 40 mm×40 mm× 40 mm | Cimento CEM I 42,5R | 14,10 |
| Provetes 40 mm×40 mm×160 mm | Cimento CEM I 42,5R | 13,08 |
| Provetes 40 mm×40 mm× 40 mm | Cal hidráulica | 23,32 |
| Provetes 40 mm×40 mm×160 mm | Cal aérea | 23,50 |
| Provetes 40 mm×40 mm×160 mm | Cal aérea com adição de cinzas volantes com cura no exterior | 20,23 |

Os valores obtidos para as argamassas de cimento CEM I 42,5R, em que se utilizou ou a areia A1 (14,32%) ou a areia A2 (14,21%), são idênticos aos alcançados por Sousa (2009) (Quadro 5.15) com argamassas com o mesmo tipo de cimento e areia normalizada (13,08% a 14,10%). Contrariamente, o valor obtido com a meia areia (18,65%) é superior aos referidos por Sousa (2009).

5.2.4. RESULTADOS – ARGAMASSAS DE CAL HIDRÁULICA HL5

O Quadro 5.16 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de porosidade livre às 48 horas para provetes cujo ligante utilizado foi a cal hidráulica HL5.

Quadro 5.16 – Argmassas de cal hidráulica HL5 - Resultados obtidos para a porosidade livre às 48h

| Proвете | Diâmetro (cm) | Altura (cm) | Volume (cm ³) | Peso seco (g) | Peso saturado (g) | N_{48} (%) | N_{48} médio (%) |
|---------|---------------|-------------|---------------------------|---------------|-------------------|--------------|--------------------|
| HLA1 1 | 4,440 | 6,158 | 95,296 | 167,29 | 183,080 | 16,57 | 16,52 ± 0,27 |
| HLA1 2 | 4,419 | 6,143 | 94,167 | 165,97 | 181,410 | 16,40 | |
| HLA1 3 | 4,420 | 6,211 | 95,252 | 168,57 | 184,640 | 16,87 | |
| HLA1 4 | 4,449 | 6,115 | 95,015 | 167,9 | 183,34 | 16,25 | |
| HLA2 1 | 4,568 | 6,144 | 100,641 | 174,25 | 193,780 | 19,41 | 19,26 ± 0,19 |
| HLA2 2 | 4,565 | 6,149 | 100,590 | 175,66 | 195,060 | 19,29 | |
| HLA2 3 | 4,558 | 6,149 | 100,282 | 174,2 | 193,230 | 18,98 | |
| HLA2 4 | 4,561 | 6,171 | 100,773 | 174,97 | 194,49 | 19,37 | |
| HLMA 1 | 4,534 | 5,990 | 96,663 | 177,11 | 200,510 | 24,21 | 24,02 ± 0,50 |
| HLMA 2 | 4,429 | 6,008 | 92,515 | 169,62 | 192,280 | 24,49 | |
| HLMA 3 | 4,543 | 6,089 | 98,651 | 180,93 | 203,940 | 23,32 | |
| HLMA 4 | 4,539 | 5,975 | 96,634 | 176,72 | 199,95 | 24,04 | |

Após a análise dos resultados, uma vez mais, verifica-se que as amostras HLA1, HLA2 e HLMA são homogêneas, dados os baixos valores obtidos para os desvios padrão.

A amostra HLA1 apresenta um valor médio de N_{48} de 16,52 %, associado a um desvio padrão de 0,27%, enquanto a amostra HLA2 tem um valor médio de N_{48} de 19,26% com um desvio padrão de 0,19%. Por fim, a amostra HLMA exibe um valor médio de N_{48} de 24,02% com um desvio padrão de 0,50%.

A porosidade livre às 48h é maior nas argamassas de cal hidráulica HL5 do que as correspondentes fabricadas com cimento CEM I 42,5R. Isto poderá dever-se, em parte, às características físicas da cal, elevada finura e baixa baridade, assim como à utilização de traços em volume, o que, em conjunto, conduz ao uso de uma menor quantidade em peso de cal hidráulica, em relação ao cimento, podendo assim originar um maior volume de vazios e valores mais elevados de N_{48} .

A argamassa de cal hidráulica fabricada com a meia areia é a que tem porosidade livre maior (24,02%), tal como sucedera com a argamassa de cimento com a meia areia.

A argamassa de cal hidráulica fabricada com a areia A1 tem N_{48} médio (16,52%) inferior à da argamassa de cal hidráulica fabricada com a areia A2 (19,26%).

De realçar que nos provetes de cal hidráulica e cimento fabricados com meia areia, aquela com uma curva granulométrica mais completa e que deveria conduzir a um menor volume de vazios promove valores máximos de N_{48} . Isto poderá ser justificado com a maior quantidade de água utilizada nas amassaduras com essa areia, para a obtenção da trabalhabilidade desejada. Após a moldagem da mesma e durante o período de cura, a água em excesso, não necessária para a hidratação completa do ligante, acaba por evaporar no interior do provete, deixando assim pequenas cavidades no mesmo, explicando o aumento da porosidade.

O valor de N_{48} obtido na argamassa fabricada com meia areia (24,02%) é semelhante ao valor referido por Sousa (2009) (23,32% no Quadro 5.15) para uma argamassa de cal hidráulica fabricada com areia normalizada.

5.2.5. RESULTADOS – ARGAMASSAS PRONTAS D. FRADIQUE

O Quadro 5.17 apresenta os resultados da porosidade livre às 48 horas obtidos nos provetes de argamassas prontas.

Quadro 5.17 – Argmassas prontas D.Fradique - Resultados obtidos para a porosidade livre às 48h

| Proвете | Diâmetro (cm) | Altura (cm) | Volume (cm ³) | Peso seco (g) | Peso saturado (g) | N_{48} (%) | N_{48} médio (%) |
|---------|---------------|-------------|---------------------------|---------------|-------------------|--------------|--------------------|
| APDF1 1 | 4,469 | 6,024 | 94,444 | 177,57 | 199,41 | 23,12 | 23,05 ± 0,16 |
| APDF1 2 | 4,360 | 6,171 | 92,087 | 171,65 | 192,99 | 23,17 | |
| APDF1 3 | 4,372 | 6,074 | 91,139 | 166,56 | 187,36 | 22,82 | |
| APDF1 4 | 4,383 | 6,175 | 93,121 | 172,73 | 194,23 | 23,09 | |
| APDF2 1 | 4,475 | 6,063 | 95,311 | 181,99 | 202,79 | 21,82 | 21,79 ± 0,31 |
| APDF2 2 | 4,366 | 6,137 | 91,832 | 174,24 | 194,37 | 21,92 | |
| APDF2 3 | 4,360 | 6,058 | 90,401 | 172,81 | 192,76 | 22,07 | |
| APDF2 4 | 4,484 | 6,116 | 96,531 | 179,29 | 199,91 | 21,36 | |

Pela análise do quadro anterior verifica-se que as amostras produzidas com recurso ao aditivo pozolânico 2 apresentam porosidade livre às 48h inferior aos provetes produzidos com recurso ao aditivo pozolânico 1. Nota ainda para o facto de as duas argamassas, APDF1 e APDF2, apresentarem desvios padrão reduzidos, demonstrando a boa homogeneidade dos provetes.

5.2.6. RESULTADOS – ARGAMASSA DE CAL AÉREA EM PASTA

O Quadro 5.18 apresenta os resultados obtidos no ensaio de porosidade livre às 48 horas para os provetes de cal aérea.

Quadro 5.18 – Cal aérea em pasta - Resultados obtidos para a porosidade livre às 48h

| Proвете | Diâmetro (cm) | Altura (cm) | Volume (cm ³) | Peso seco (g) | Peso saturado (g) | N ₄₈ (%) | N ₄₈ médio (%) |
|---------|---------------|-------------|---------------------------|---------------|-------------------|---------------------|---------------------------|
| PASTA1 | 4,343 | 6,089 | 90,156 | 156,61 | 177,68 | 23,37 | 22,97 ± 0,39 |
| PASTA2 | 4,382 | 6,138 | 92,521 | 157,27 | 178,10 | 22,51 | |
| PASTA3 | 4,477 | 6,094 | 95,884 | 164,59 | 186,85 | 23,22 | |
| PASTA4 | 4,490 | 6,171 | 97,660 | 164,90 | 187,16 | 22,79 | |

Os resultados de N₄₈ (22,97%) podem ser considerados satisfatórios, considerando a baixa dispersão dos mesmos (desvio padrão igual a 0,39%) e que estão em concordância com os de Sousa (2009) (23,50%).

A Figura 5.10 sumariza os valores obtidos para a porosidade livre às 48h para todos os tipos de argamassas ensaiadas.

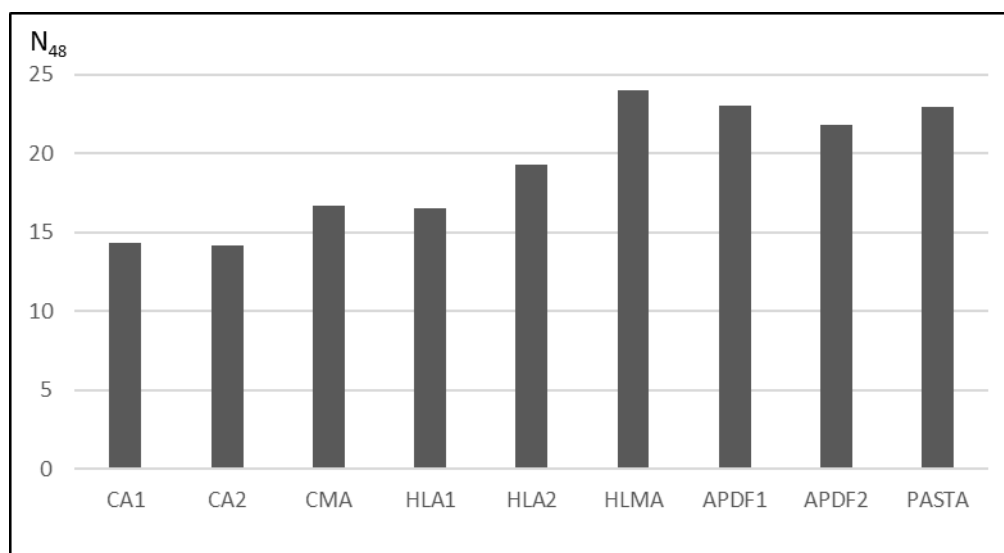


Figura 5.10 – Valores para a porosidade livre às 48h de todas argamassas ensaiadas

A porosidade livre da argamassa de cal aérea em pasta (22,97%), fabricada com meia areia, é um pouco inferior à da argamassa de cal hidráulica HLMA (24,02%), fabricada com a mesma areia, praticamente igual à da argamassa pronta D. Fradique APDF1 (23,05%) e um pouco superior da argamassa pronta D. Fradique APDF2 (21,79%).

5.2.7. RESULTADOS – GRANITOS

Os resultados de N_{48} dos provetes de granito apresentam-se no Quadro 5.19.

Quadro 5.19 – Granitos - Resultados obtidos para a porosidade livre às 48h

| Provete | Diâmetro (cm) | Altura (cm) | Volume (cm ³) | Peso seco (g) | Peso saturado (g) | N_{48} (%) |
|---------|---------------|-------------|---------------------------|---------------|-------------------|--------------|
| H47 | 3,949 | 5,696 | 69,729 | 182,04 | 183,17 | 1,62 |
| H49 | 3,962 | 5,711 | 70,374 | 182,11 | 183,23 | 1,59 |
| H54 | 3,960 | 5,720 | 70,414 | 177,69 | 179,79 | 2,98 |
| H55 | 3,950 | 5,945 | 72,814 | 181,76 | 183,89 | 2,93 |
| H144 | 4,005 | 5,862 | 73,811 | 181,57 | 185,37 | 5,15 |
| H145 | 4,003 | 5,906 | 74,291 | 176,69 | 182,01 | 7,16 |
| HMV58.2 | 4,529 | 5,663 | 91,184 | 230,80 | 233,68 | 3,16 |
| HMV58.3 | 4,528 | 5,676 | 91,353 | 231,02 | 233,95 | 3,21 |
| HMV59.1 | 4,530 | 5,640 | 90,854 | 233,75 | 236,01 | 2,49 |
| HMV59.3 | 4,529 | 5,644 | 90,879 | 234,05 | 236,29 | 2,46 |
| ISC2.1 | 4,542 | 5,915 | 95,790 | 243,88 | 246,09 | 2,31 |
| ISC2.2 | 4,540 | 5,868 | 94,945 | 242,09 | 244,24 | 2,26 |
| ISC3.3 | 4,526 | 5,837 | 93,862 | 221,38 | 226,82 | 5,80 |
| ISC4.4 | 4,500 | 5,670 | 90,132 | 215,71 | 221,33 | 6,24 |
| ISC5.1 | 4,525 | 5,802 | 93,258 | 241,44 | 243,85 | 2,58 |
| ISC5.2 | 4,515 | 5,936 | 94,990 | 244,73 | 247,03 | 2,42 |
| MSM4.2 | 4,463 | 5,928 | 92,690 | 232,96 | 237,13 | 4,50 |
| MSM4.3 | 4,471 | 5,826 | 91,422 | 228,84 | 232,95 | 4,50 |
| MSM6.1 | 4,464 | 6,034 | 94,389 | 223,79 | 231,38 | 8,04 |
| MSM6.2 | 4,465 | 5,945 | 93,039 | 219,16 | 226,85 | 8,27 |
| MLB4 | 4,576 | 5,951 | 97,821 | 248,13 | 251,30 | 3,24 |
| MLB5 | 4,577 | 5,762 | 94,756 | 237,93 | 241,35 | 3,61 |
| MLB7 | 4,578 | 6,238 | 102,628 | 258,69 | 262,28 | 3,50 |
| MLB10 | 4,575 | 5,972 | 98,123 | 249,70 | 252,85 | 3,21 |

Os resultados demonstram a grande variabilidade que se pode obter para granitos, dado que os provetes ensaiados são de tipos de granito diferentes, com graus de meteorização e/ou deterioração distintos, sendo o valor máximo registado de 8,27% e o mínimo de 1,59%, não se justificando, consequentemente, o cálculo da média e desvio padrão.

Diversos autores já recorreram a esta técnica para a caracterização de diversos tipos de granitos com diferentes composições mineralógicas e graus de meteorização e/ou deterioração. O Quadro 5.20 apresenta os intervalos obtidos para a porosidade livre às 48h, registados por diferentes autores.

Quadro 5.20 – Granitos - Valores para a porosidade livre às 48h obtidos por diversos autores

| Casos de estudo | N ₄₈ (%) |
|--|---------------------|
| Convento de São Gonçalo de Amarante – Granito de grão fino de duas micas meteorizado (Castro <i>et al.</i> , 1991a) | 5,13 – 9,63 |
| Anta Grande do Zambujeiro – Granito de grão grosseiro (Ferreira Pinto, 1993) | 2,90 |
| Granito de Braga não meteorizado (Alves, 1997) | 0,64 – 0,67 |
| Granito de Braga pouco meteorizado (Alves, 1997) | 1,08 – 3,18 |
| Granito de Braga muito meteorizado (Alves, 1997) | 5,63 – 7,19 |
| Granito de Gondizalves pouco meteorizado (Alves, 1997) | 2,32 – 2,60 |
| Granito de Gondizalves mediana a muito meteorizado (Alves, 1997) | 2,74 – 7,31 |
| Granito do Porto não meteorizado (Begonha, 1997, 2001) | 0,52 – 1,00 |
| Granito do Porto meteorizado (Begonha, 1997, 2001) | 2,12 – 3,96 |
| Granito do Porto meteorizado (Begonha, 1997, 2001) | 4,04 – 6,26 |
| Granito do Porto muito meteorizado (Begonha, 1997, 2001) | 7,79 – 10,77 |
| Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado (Begonha, 1997, 2001) | 1,53 – 1,78 |
| Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado (Begonha, 1997, 2001) | 2,19 – 3,10 |
| Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas (Begonha, 1997, 2001) | 3,38 – 4,48 |
| Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas (Begonha, 1997, 2001) | 5,27 – 7,46 |
| Hospital de Santo António – Pedras de granito do Porto meteorizado, afetadas por desagregação granular (Begonha, 1997, 2001) | 3,96 – 4,29 |
| Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiróide meteorizado (Begonha, 2000) | 4,61 – 4,88 |
| Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiróide meteorizado (Begonha, 2000) | 5,68 – 7,09 |
| Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiróide muito meteorizado (Begonha, 2000) | 7,36 – 8,53 |
| Igreja de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã muito meteorizado (Begonha, 2002a) | 6,83 – 8,58 |
| Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiróide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade forte e alvéolos (Begonha, 2003a) | 2,99 – 4,00 |
| Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiróide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade intermédia (Begonha, 2003a) | 2,12 – 2,31 |
| Igreja Matriz de Espinho – Granito de grão médio orientado afetado por desagregação granular de intensidade forte com alvéolos ou desagregação granular de intensidade intermédia (Begonha, 2003a) | 2,75 – 3,58 |
| Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio meteorizado (Begonha, 2003b) | 4,77 – 5,88 |
| Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio muito meteorizado (Begonha, 2003b) | 6,08 – 7,26 |
| Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro meteorizado (Begonha, 2003b) | 4,16 – 5,87 |

Quadro 5.20 – Granitos - Valores para a porosidade livre às 48h obtidos por diversos autores (continuação)

| | |
|---|-------------------|
| Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro muito meteorizado (Begonha, 2003b) | 6,09 – 7,68 |
| Convento de São Gonçalo de Amarante – Granito de grão fino de duas micas meteorizado (Begonha, 2004b, Malheiro <i>et al.</i> , 2004) | 3,02 – 4,19 |
| Antiga Alfândega de Vila do Conde – Granito de grão médio afetado por desagregação granular (Ferreira, 2004) | 2,88 – 5,48 |
| Antiga Alfândega de Vila do Conde – Granito de grão médio afetado por desagregação granular intensa (Ferreira, 2004) | 6,55 – 8,48 |
| Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto meteorizado (Moutinho, 2005) | 3,00 – 3,66 |
| Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular (Fojo, 2006) | 4,85 – 6,19 |
| Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular (Fojo, 2006) | 7,08 – 10,30 |
| Igreja Matriz de Caminha – Microgranito meteorizado, afetado por desagregação granular (Fojo, 2006) | 4,04 – 4,48 |
| Sé Catedral de Évora – Granito de duas micas meteorizado, afetado por desagregação granular (Costa, 2007) | 5,8±0,2 – 6,9±0,3 |
| Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiróide, meteorizado (Costa Leite, 2008) | 2,26 – 2,49 |
| Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiróide, muito meteorizado (Costa Leite, 2008) | 5,87 – 6,81 |
| Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico meteorizado, de cor cinzenta muito clara (Costa Leite, 2008) | 2,58 – 2,82 |
| Capela do Senhor da Pedra – Granito porfiróide de grão grosseiro, em geral biotítico, meteorizado, afetado por desagregação granular (Granito de Lavadores) (Bré, 2008) | 4,42 – 5,35 |
| Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedras n.º 1,2,3 e 5 (Resende, 2010) | 1,92 – 2,63 |
| Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedra n.º 4 (Resende, 2010) | 3,72 – 3,91 |
| Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado, não deteriorado (Silva, 2012) | 2,49 – 2,57 |
| Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado afetado por desagregação granular de intensidade intermédia (Silva, 2012) | 3,13 – 3,30 |
| Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado (Oliveira, 2017) | 2,22 – 7,03 |

Os resultados de N_{48} obtidos e presentes no Quadro 5.19 integram-se na gama de valores exibidos no Quadro 5.20, os quais estão compreendidos entre 0,52% e 10,77%.

Todos os provetes de granito ensaiados neste trabalho apresentavam-se já meteorizados com $N_{48} \geq 1,59\%$, dado que os granitos não meteorizados apresentam $N_{48} \leq 1,00\%$, conforme referem Begonha (1997, 2001) para o granito do Porto (0,52% a 1,00%) e Alves (1997) para o granito de Braga (0,64% a 0,67%) (Quadro 5.20).

5.2.8. RESULTADOS – CALCÁRIOS

O Quadro 5.21 apresenta os resultados obtidos no ensaio de porosidade livre às 48 horas para provetes de calcário utilizados.

Quadro 5.21 – Calcários - Resultados obtidos para a porosidade livre às 48h

| Proвете | Diâmetro (cm) | Altura (cm) | Volume (cm ³) | Peso seco (g) | Peso saturado (g) | N ₄₈ (%) | N ₄₈ médio (%) |
|---------|---------------|-------------|---------------------------|---------------|-------------------|---------------------|---------------------------|
| SPO3 | 4,870 | 5,943 | 110,645 | 258,22 | 272,61 | 13,01 | 12,93 ± 0,68 |
| SPO4 | 4,895 | 6,000 | 112,856 | 261,47 | 275,79 | 12,69 | |
| SPO5 | 4,870 | 5,977 | 111,278 | 260,86 | 275,37 | 13,04 | |
| SPO6 | 4,898 | 6,000 | 112,995 | 260,81 | 275,73 | 13,20 | |
| SPO7 | 4,901 | 5,980 | 112,756 | 258,97 | 274,38 | 13,67 | |
| SPO8 | 4,901 | 6,025 | 113,605 | 260,46 | 276,31 | 13,95 | |
| SPO9 | 4,883 | 6,015 | 112,585 | 264,32 | 278,32 | 12,44 | |
| SPO11 | 4,900 | 6,038 | 113,803 | 263,26 | 278,41 | 13,31 | |
| SPO12 | 4,909 | 5,996 | 113,427 | 267,07 | 280,53 | 11,87 | |
| SPO13 | 4,917 | 6,043 | 114,689 | 267,38 | 281,71 | 12,49 | |
| SPO14 | 4,901 | 5,992 | 112,982 | 261,88 | 277,25 | 13,60 | |
| SPO15 | 4,905 | 6,054 | 114,338 | 268,53 | 282,06 | 11,83 | |

O Quadro 5.21 mostra a elevada homogeneidade da pedra de onde se extraíram os provetes de calcário com N₄₈ médio de 12,93% e desvio padrão baixo de 0,68%. Os valores da porosidade em calcários podem ser bastante variados, dependendo da sua génese.

Castro (1983, 1985) obteve valores de 14,0% e 28,0% para N₄₈ do calcário de Coimbra e do calcário de Ançã respetivamente, sendo o valor obtido para o calcário de Ançã confirmado em Castro (1981). Castro *et al.* (1990a) obtiveram, para o calcário de Ançã empregue na Igreja de Santa Cruz em Coimbra, porosidade livre compreendida entre 22,2% e 27,5%.

Castro *et al.* (1985) e Delgado Rodrigues e Prudêncio (1992) referem que a porosidade do calcário Lioz são da Igreja da Conceição Velha em Lisboa é igual a 0,91%. Além disso Castro *et al.* (1985) obtiveram para o calcário Lioz alterado do mesmo monumento valores de N₄₈ compreendidos entre 1,24% e 1,61%.

Por outro lado, Hammecker (1993) obteve para os calcários das Astúrias de Hontoria um valor de N₄₈ igual a 14,16% e para o calcário de Laspra N₄₈ igual a 28,05%.

No entanto, de ressaltar o facto de, para a amostra obtida, os calcários apresentarem valores para a porosidade livre bastante mais elevados que os granitos, mesmo os mais meteorizados e/ou deteriorados (N₄₈ igual a 8,27%).

5.3. ENSAIO DE EVAPORAÇÃO

A evaporação dos materiais é uma característica importante a ser estudada, sendo um fenómeno dependente de várias características, o que implica uma análise multicritério de fatores como: o meio poroso, temperatura ambiente e humidade relativa.

Neste ensaio, analisa-se a difusão do vapor de água no ar, acontecimento que é regido pelas leis de difusão de Fick. O fluxo das moléculas é unidirecional, pelo que este fenómeno pode ser explicado pelas duas leis de Fick a seguir explicitadas.

$$q = -D \times dC/dx \quad (5.5)$$

Em que,

q – Fluxo do vapor de água, expresso em $\text{g} \times \text{cm}^2 \times \text{h}^{-1}$;

D – Coeficiente de difusão, expresso em $\text{cm}^2 \times \text{h}^{-1}$;

dC/dx – gradiente de concentração de vapor de água na direção x , expresso em $\text{g} \times \text{cm}^{-3} \times \text{cm}^{-1}$.

Esta lei de Fick permite determinar o fluxo de evaporação, quando as moléculas de vapor de água estão submetidas a um gradiente de pressão parcial. Por outro lado, a segunda lei de Fick determina a distribuição das moléculas de vapor de água ao longo do tempo e espaço, correspondendo assim a uma equação de conservação de massa e, para o caso da existência de um fluxo unidirecional, expressa-se pela equação 5.6.

$$\frac{dC}{dt} = D \times (d^2C/dx^2) \quad (5.6)$$

Em que,

C – Concentração do vapor de água;

t – Tempo;

x – Comprimento;

Paralelamente a estas equações, o fator D , coeficiente de difusão do vapor de água no ar, pode ser calculado recorrendo à expressão de De Vries e Kruger:

$$D = 0,217 \times \left(\frac{P_r}{P}\right) \times \left(\frac{T}{T_r}\right)^{1,88} \quad (5.7)$$

Em que,

P_r – Pressão de referência, $1,013 \times 10^5$ Pa;

P – Pressão atmosférica, expressa em Pa;

T_r – Temperatura absoluta de referência, $273,15^\circ\text{K}$;

T – Temperatura durante o ensaio, expressa em °K.

O ensaio de evaporação foi realizado segundo as técnicas e metodologias utilizadas pelo Laboratoire de Pétrophysique do Centre de Géochimie de la Surface de Strasbourg do CNRS e descritas por Hammecker (1993), Begonha (2001) e Silva (2012).

Ensaíram-se setenta e dois provetes, que previamente foram submetidos a embebição e imersão em água destilada durante 48h, conforme descrito no ensaio de porosidade livre às 48h, obtendo-se assim uma saturação na ordem dos 100%, relativamente à porosidade livre acessível à água (N_{48}). Nota para o facto de a embebição de todos os provetes só se ter iniciado 28 dias após a moldagem dos mesmos.

O ensaio de evaporação realiza-se no interior de caixas herméticas colocadas numa sala climatizada, com uma temperatura ambiente de 20°C. No interior das caixas coloca-se uma tina com uma solução aquosa sobressaturada de cloreto de sódio, NaCl, atingindo-se, assim, no interior das mesmas uma humidade relativa constante de 75%.

Retira-se o excesso de água dos provetes, após os mesmos serem removidos da água, sendo de seguida envolvidos numa película aderente de polietileno sem PVC, excetuando uma das bases para que a perda de vapor de água se realize apenas por essa face exposta. Após a preparação dos provetes, estes são pesados, sendo logo de seguida inseridos nas caixas herméticas, começando assim o ensaio (Fig.5.11). Durante o ensaio, são realizadas pesagens periódicas, até se obter um peso constante durante, pelo menos, 48 horas consecutivas.

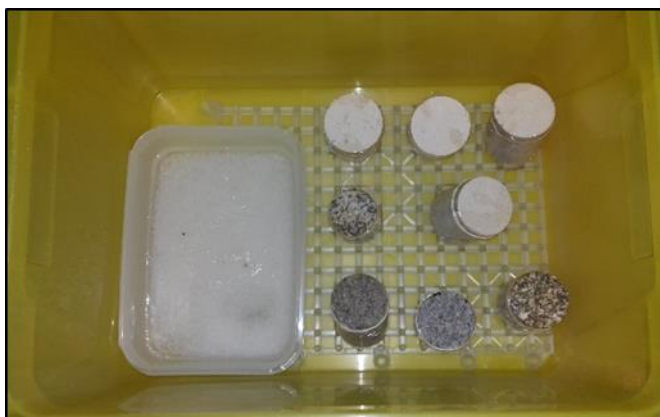


Figura 5.11 – Provetes durante o ensaio de evaporação

Após o fim das pesagens, o ensaio é traduzido por uma curva de perda de peso por unidade de superfície (dW/S) em função do tempo, t , expresso em horas. Todavia, a curva obtida no final do ensaio pode sumariamente ser dividida em três troços distintos (Fig. 5.12). Primeiro verifica-se a existência de um troço aproximadamente linear, com maior ou menor declive (tangente de α), dependendo das características do meio poroso dos provetes, que corresponde ao período no qual o fluxo de evaporação do vapor de água (q) é constante. De seguida, verifica-se a ocorrência de um troço curvo, correspondente à diminuição do valor do fluxo de evaporação de vapor de água. Finalmente, verifica-se a formação de um novo troço linear, mas de declive muito inferior ao do primeiro, que tende a tornar-se numa assíntota horizontal. Este troço corresponde ao final do ensaio, quando a massa de cada provete pouco ou nada varia.

Na primeira fase do ensaio, em que o troço linear tem maior ou menor declive, a evaporação realiza-se à superfície do provete. Esta fase mantém-se até ser atingida a saturação crítica (Sc), instante ($t(Sc)$) em que a evaporação começa a realizar-se no interior do provete, sendo que a quantidade de vapor de água

libertado por evaporação é maior que a quantidade de água que cada provete consegue manter à superfície. Atingida assim a saturação crítica, a superfície exposta de cada provete deixa de permanecer molhada, adquirindo um aspeto seco. A saturação crítica é igual à razão entre a quantidade de água que o provete ainda não perdeu (Δa) e a quantidade total de água perdida até o provete ficar seco (ΔA). O tempo decorrido entre o início do ensaio até se obterem leituras consecutivas espaçadas de pelo menos 48h com igual peso designou-se como tempo de secagem (T_{Secagem}).

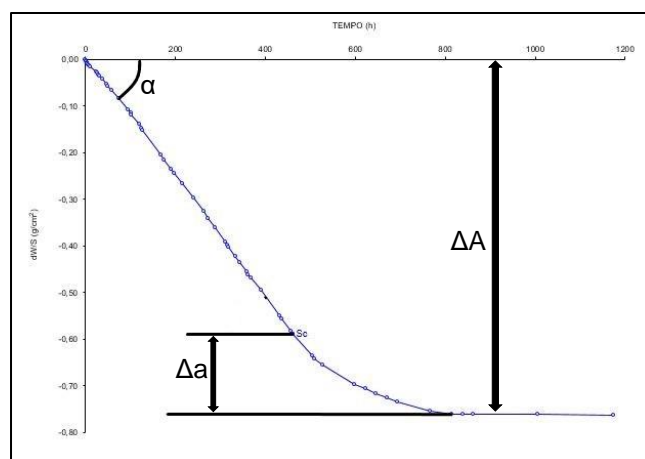


Figura 5.12 – Ensaio de evaporação – determinação de q e Sc

5.3.1. RESULTADOS – ARGAMASSA DE CIMENTO CEM I 42.5R

O Quadro 5.22 apresenta os resultados do ensaio de evaporação dos provetes de argamassas de cimento, incluindo as médias e desvios padrão (dp).

Quadro 5.22 - Argmassas de cimento CEM I 42,5R – Resultados do ensaio de evaporação

| Provete | Sc (%) | t(Sc) | | q | | T _{Secagem} | |
|---------|--------|--------------|-----|--------------|---------------------------------------|----------------------|------|
| | | Média+dp (%) | (h) | Média+dp (h) | (g cm ⁻² h ⁻¹) | Média+dp (h) | (h) |
| CA1 1 | 43 | 42 ± 3 | 174 | 240 ± 44 | 0,0017 | 0,0013 ± 0,0003 | 1944 |
| CA1 2 | 38 | | 262 | | 0,0013 | | 1944 |
| CA1 3 | 44 | | 262 | | 0,0011 | | 1944 |
| CA1 4 | 44 | | 262 | | 0,0010 | | 1944 |
| CA2 1 | 65 | 67 ± 2 | 173 | 187 ± 9 | 0,0008 | 0,0007 ± 0,0001 | 2616 |
| CA2 2 | 70 | | 192 | | 0,0006 | | 2616 |
| CA2 3 | 66 | | 192 | | 0,0007 | | 2616 |
| CA2 4 | 65 | | 191 | | 0,0007 | | 2616 |
| CMA 1 | 70 | 70 ± 2 | 173 | 187 ± 9 | 0,0009 | 0,0009 ± 0,0001 | 2951 |
| CMA 2 | 71 | | 192 | | 0,0008 | | 2951 |
| CMA 3 | 68 | | 192 | | 0,0009 | | 2951 |
| CMA 4 | 72 | | 191 | | 0,0008 | | 2951 |

Os provetes de argamassa CA1 apresentam maior fluxo de evaporação ($q = 0,0013 \pm 0,0003 \text{ g cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) e o intervalo de tempo até ocorrer a saturação crítica ($t(\text{Sc}) = 240 \pm 44 \text{ h}$) é maior do que nos provetes de argamassas CA2 e CMA. Consequentemente, a saturação crítica é inferior ($\text{Sc} = 42 \pm 3 \%$) pelo que o risco de deterioração provocada pela cristalização de minerais de sais solúveis deverá ser menor.

O tempo de secagem nos provetes de argamassa CA1 ($T_{\text{Secagem}} = 1944 \text{ h}$) é inferior ao das restantes argamassas de cimento uma vez que a porosidade livre dos provetes CA1 é idêntica à dos provetes CA2 e ambas inferiores às da argamassa CMA. Além disso, o fluxo de evaporação (q) é superior nos provetes de argamassa CA1.

5.3.2. RESULTADOS – ARGAMASSA DE CAL HIDRÁULICA HL5

O Quadro 5.23 mostra os resultados do ensaio de evaporação dos provetes de argamassas de cal hidráulica, incluindo as médias e desvios padrão (dp).

Quadro 5.23 - Argmassas de cal hidráulica HL5 – Resultados do ensaio de evaporação

| Proвете | Sc | | t(Sc) | | q | | T _{Secagem} | |
|---------|-----|-----------------|-------|-----------------|---------------------------------------|---|----------------------|-----------------|
| | (%) | Média+dp (%) | (h) | Média+dp (h) | (g cm ⁻² h ⁻¹) | Média+dp (g cm ⁻² h ⁻¹) | (h) | Média+dp (h) |
| HLA1 1 | 38 | 42 ± 4 | 310 | 322 ± 46 | 0,0017 | 0,0016 ± 0,0003 | 1704 | 1759 ± 37 |
| HLA1 2 | 48 | | 358 | | 0,0012 | | 1777 | |
| HLA1 3 | 42 | | 262 | | 0,0019 | | 1777 | |
| HLA1 4 | 40 | | 357 | | 0,0014 | | 1777 | |
| HLA2 1 | 32 | 34 ± 5 | 526 | 484 ± 84 | 0,0013 | 0,0014 ± 0,0001 | 1944 | 1944 ± 0 |
| HLA2 2 | 33 | | 526 | | 0,0013 | | 1944 | |
| HLA2 3 | 42 | | 358 | | 0,0016 | | 1944 | |
| HLA2 4 | 30 | | 526 | | 0,0014 | | 1944 | |
| HLMA 1 | 59 | 49 ± 12 | 358 | 388 ± 60 | 0,0013 | 0,0015 ± 0,0003 | 2951 | 2909 ± 84 |
| HLMA 2 | 59 | | 358 | | 0,0013 | | 2951 | |
| HLMA 3 | 44 | | 358 | | 0,0018 | | 2951 | |
| HLMA 4 | 34 | | 477 | | 0,0017 | | 2784 | |

Os fluxos de evaporação dos três tipos de argamassas de cal hidráulica são semelhantes. Uma vez que o intervalo de tempo até ocorrer a saturação crítica ($t(\text{Sc}) = 484 \pm 84 \text{ h}$) é maior nos provetes de argamassas de cal hidráulica HLA2, a saturação crítica é menor ($\text{Sc} = 34 \pm 5 \%$). A saturação crítica dos provetes HLA1 é menor do que nos provetes HLA2 em virtude de $t(\text{Sc})$ ser menor e a porosidade livre de HLMA ser superior.

Atendendo unicamente aos parâmetros determinados no ensaio de evaporação, seria de esperar que o tempo de secagem dos provetes HLA2 fosse inferior ao dos provetes HLA1. Tal não sucede devido à porosidade livre ser um pouco superior em HLA2 e, eventualmente, a diferenças no tipo de rede porosa.

Comparando os resultados dos Quadros 5.22 e 5.23 podem-se tirar as seguintes ilações:

- Os fluxos de evaporação e o intervalo de tempo até ocorrer a saturação crítica são maiores nas argamassas de cal hidráulica do que nas argamassas de cimento, pelo que as saturações críticas são inferiores;
- Os tempos de secagem das argamassas de cal hidráulica são inferiores comparativamente aos das argamassas de cimento;
- A utilização de argamassas de cal hidráulica em juntas de alvenarias e cantarias de pedra ou como rebocos nas mesmas, diminui o risco de deterioração da pedra.

5.3.3. RESULTADOS – ARGAMASSAS PRONTAS D. FRADIQUE

O Quadro 5.24 exhibe os resultados do ensaio de evaporação dos provetes de argamassas prontas D. Fradique, incluindo as médias e desvios padrão (dp).

Quadro 5.24 - Argmassas prontas D. Fradique – Resultados do ensaio de evaporação

| Provete | Sc | | t(Sc) | | q | | T _{Secagem} | |
|------------|--------|-----------------|-------|-----------------|---------------------------------------|---|----------------------|-----------------|
| | (%) | Média+dp (%) | (h) | Média+dp (h) | (g cm ⁻² h ⁻¹) | Média+dp (g cm ⁻² h ⁻¹) | (h) | Média+dp (h) |
| APDF1 1 31 | 21 ± 8 | | 839 | 731 ± 99 | 0,0011 | 0,0015 ± 0,0003 | 2521 | 1831 ± 501 |
| APDF1 2 17 | | | 743 | | 0,0016 | | 1873 | |
| APDF1 3 23 | | | 599 | | 0,0017 | | 1512 | |
| APDF1 4 14 | | | 742 | | 0,0016 | | 1416 | |
| APDF2 1 20 | 18 ± 3 | | 550 | 562 ± 25 | 0,0019 | 0,0019 ± 0,0001 | 1661 | 1654 ± 106 |
| APDF2 2 21 | | | 550 | | 0,0018 | | 1661 | |
| APDF2 3 14 | | | 599 | | 0,0019 | | 1775 | |
| APDF2 4 16 | | | 550 | | 0,0020 | | 1517 | |

A argamassa pronta APDF2 onde foi introduzido o aditivo pozolânico 2 tem um fluxo de evaporação bem superior ao da argamassa pronta APDF1 mas t(Sc) inferior, pelo que as saturações críticas são semelhantes e muito baixas.

Comparando os resultados dos Quadros 5.22, 5.23 e 5.24 pode-se concluir:

- Os fluxos de evaporação e o intervalo de tempo até ocorrer a saturação crítica são maiores nas argamassas prontas D. Fradique relativamente aos das argamassas de cal hidráulica e aos das argamassas de cimento, pelo que as saturações críticas são muito inferiores;
- Os tempos de secagem das argamassas prontas D. Fradique são inferiores aos das argamassas de cal hidráulica e aos das argamassas de cimento;
- A utilização de argamassas prontas D. Fradique diminui o risco de deterioração da pedra comparativamente à utilização de argamassas de cal hidráulica e argamassas de cimento em juntas de alvenarias e cantarias de pedra ou em rebocos nas mesmas.

5.3.4. RESULTADOS – ARGAMASSA DE CAL AÉREA EM PASTA

O Quadro 5.25 exibe os resultados do ensaio de evaporação dos provetes de argamassas de cal aérea em pasta, incluindo as médias e desvios padrão (dp).

Quadro 5.25 - Argmassas de cal aérea em pasta – Resultados do ensaio de evaporação

| Provete | Sc | | t(Sc) | | q | | T _{Secagem} | |
|---------|-------------------|-----------------|-------|-----------------|---------------------------------------|---|----------------------|-----------------|
| | (%) | Média+dp (%) | (h) | Média+dp (h) | (g cm ⁻² h ⁻¹) | Média+dp (g cm ⁻² h ⁻¹) | (h) | Média+dp (h) |
| PASTA1 | 55 ^(*) | | 1441 | | 0,0004 | | 3076 ^(*) | |
| PASTA2 | 69 | 61 ± 7 | 1006 | 1097 ± 254 | 0,0004 | 0,0005 ± 0,0001 | 3023 | 2785 ± 335 |
| PASTA3 | 56 | | 1104 | | 0,0005 | | 2688 | |
| PASTA4 | 63 | | 838 | | 0,0006 | | 2354 | |

(*) – Devido à duração excessiva do ensaio o mesmo foi terminado quando, após duas leituras espaçadas de 53h se obteve uma diminuição de peso de 0,06g.

Comparando os resultados dos Quadros 5.22, 5.23, 5.24 e 5.25 podem-se tirar as seguintes conclusões:

- O fluxo de evaporação na argamassa de cal aérea em pasta é inferior quando comparado com os fluxos de evaporação das argamassas prontas D. Fradique, argamassas de cal hidráulica e argamassas de cimento, verificando-se o oposto no que concerne ao intervalo de tempo até ocorrer a saturação crítica. Consequentemente, a saturação crítica é mais elevada nas argamassas de cal aérea em pasta;
- O tempo de secagem da argamassa de cal aérea em pasta é superior ao das restantes argamassas ensaiadas.

5.3.5. RESULTADOS – GRANITOS

O Quadro 5.26 exibe os resultados do ensaio de evaporação dos provetes de vários tipos de granito, incluindo as médias e desvios padrão (dp).

A análise dos resultados do Quadro 5.26 permite retirar algumas ilações:

- Os fluxos de evaporação são altos e semelhantes atendendo a que há vários tipos de granitos e dentro de alguns tipos de granito porosidades muito distintas;
- O tempo que decorre até se atingir a saturação crítica (t(Sc)) é relativamente baixo, verificando-se uma tendência de t(Sc) com um aumento da porosidade livre, dentro de cada tipo de granito, designadamente no granito do Porto (provetes H144 e H145) e no granito empregue no Mosteiro de São Miguel de Refojos, em Cabeceiras de Basto (provetes MSM6.1 e MSM6.2);
- A saturação crítica é relativamente alta em todos os provetes e independentemente do tipo de granito, sendo a média dos 24 provetes ensaiados igual a $Sc = 52 \pm 12 \%$;
- Os tempos de secagem são relativamente baixos e tendencialmente maiores dentro de cada tipo de granito quando a porosidade livre aumenta.

Quadro 5.26 - Granitos – Resultados do ensaio de evaporação

| Provete | Sc | | t(Sc) | | q | | T _{Secagem} | |
|-------------|-----|-----------------|-------|-----------------|---------------------------------------|---|----------------------|-----------------|
| | (%) | Média+dp (%) | (h) | Média+dp (h) | (g cm ⁻² h ⁻¹) | Média+dp (g cm ⁻² h ⁻¹) | (h) | Média+dp (h) |
| H47 | 61 | | 25 | | 0,0012 | | 334 | |
| H49 | 57 | | 25 | | 0,0013 | | 406 | |
| H54 | 36 | 50 ± 10 | 124 | 68 ± 41 | 0,0007 | 0,0014 ± 0,0005 | 694 | 575 ± 178 |
| H55 | 55 | | 50 | | 0,0013 | | 528 | |
| H144 | 50 | | 79 | | 0,0016 | | 742 | |
| H145 | 42 | | 103 | | 0,0022 | | 743 | |
| HMV 58.2 | 42 | | 74 | | 0,0012 | | 743 | |
| HMV 58.3 | 40 | 53 ± 14 | 54 | 49 ± 19 | 0,0017 | 0,0013 ± 0,0004 | 910 | 928 ± 180 |
| HMV 59.1 | 62 | | 30 | | 0,0014 | | 885 | |
| HMV 59.3 | 69 | | 38 | | 0,0008 | | 1175 | |
| ISC2.1 | 60 | | 25 | | 0,0016 | | 911 | |
| ISC2.2 | 48 | | 46 | | 0,0011 | | 742 | |
| ISC3.3 | 37 | 53 ± 11 | 125 | 63 ± 49 | 0,0016 | 0,0015 ± 0,0003 | 910 | 903 ± 154 |
| ISC4.4 | 47 | | 124 | | 0,0014 | | 766 | |
| ISC5.1 | 62 | | 31 | | 0,0014 | | 1175 | |
| ISC5.2 | 65 | | 25 | | 0,0021 | | 911 | |
| MSM4.2 | 74 | | 54 | | 0,0011 | | 911 | |
| MSM4.3 | 40 | 61 ± 15 | 102 | 126 ± 58 | 0,0014 | 0,0011 ± 0,0003 | 742 | 977 ± 191 |
| MSM6.1 | 68 | | 171 | | 0,0008 | | 1080 | |
| MSM6.2 | 61 | | 175 | | 0,0010 | | 1175 | |
| MLB4 | 48 | | 54 | | 0,0016 | | 742 | |
| MLB5 | 34 | 42 ± 6 | 99 | 76 ± 19 | 0,0013 | 0,0014 ± 0,0001 | 862 | 899 ± 140 |
| MLB7 | 42 | | 79 | | 0,0014 | | 911 | |
| MLB10 | 45 | | 73 | | 0,0013 | | 1079 | |

Comparando os resultados dos Quadros 5.22, 5.23, 5.24, 5.25 e 5.26 conclui-se:

- Os fluxos de evaporação dos diversos tipos de granito são altos e idênticos aos obtidos nas argamassas de cal hidráulica e argamassas prontas D. Fradique e superiores aos das argamassas de cimento e argamassas de cal aérea em pasta, o que, tendo em atenção que a porosidade livre dos granitos é muito inferior à de qualquer das argamassas ensaiadas, comprova que a rede porosa destas rochas é muito bem interligada, permitindo uma secagem rápida e eficaz com tempos de secagem inferiores a qualquer uma das argamassas;
- O tempo de secagem médio dos 24 provetes de granito ($T_{\text{Secagem}} = 837 \pm 220\text{h}$) é 3,0 vezes menor que o tempo de secagem médio dos 12 provetes de argamassas de cimento ($T_{\text{Secagem}} = 2504 \pm$

437h) e 2,6 vezes menor que o tempo de secagem médio dos 12 provetes de argamassas de cal hidráulica ($T_{\text{Secagem}} = 2204 \pm 529\text{h}$);

- O facto de a saturação crítica média dos diversos granitos ser próxima dos 50% ($Sc = 52 \pm 12\%$) e de o tempo de secagem médio ser muito inferior ao das argamassas de cimento e de cal hidráulica explica o aumento de deterioração do granito quando em contacto sobretudo com as argamassas de cimento usualmente ricas nos iões alcalinos Na^+ e K^+ que, por capilaridade, são transferidos das argamassas para a pedra, formando sulfatos alcalinos nas zonas com poluição atmosférica e carbonatos alcalinos quando a poluição atmosférica não é significativa.

5.3.6. RESULTADOS – CALCÁRIOS

O Quadro 5.27 exhibe os resultados do ensaio de evaporação dos provetes de calcário recolhidos nas imediações do Santuário do Senhor Jesus da Pedra, em Óbidos, Leiria, incluindo as médias e desvios padrão (dp).

O fluxo de evaporação é alto, idêntico ao dos granitos. O tempo em que ocorre a saturação crítica é muito superior ao dos granitos e a saturação crítica muito baixa, pelo que o risco de ocorrer deterioração resultante da ação de minerais de sais solúveis no interior da rede porosa é inferior ao dos granitos.

O tempo de secagem é semelhante ao dos granitos, apesar do calcário ter N_{48} muito superior ao dos provetes dos distintos tipos de granito, uma vez que o $t(Sc)$ é muito superior e o fluxo de evaporação idêntico.

Quadro 5.27 - Calcários – Resultados do ensaio de evaporação

| Provete | Sc | | t(Sc) | | q | | T _{Secagem} | |
|---------|-----|-----------------|-------|-----------------|---------------------------------------|---|----------------------|-----------------|
| | (%) | Média+dp (%) | (h) | Média+dp (h) | (g cm ⁻² h ⁻¹) | Média+dp (g cm ⁻² h ⁻¹) | (h) | Média+dp (h) |
| SPO3 | 23 | | 461 | | 0,0013 | | 863 | |
| SPO4 | 26 | | 367 | | 0,0016 | | 839 | |
| SPO5 | 25 | | 430 | | 0,0010 | | 910 | |
| | | | | | 0,0016 | | | |
| SPO6 | 18 | | 454 | | 0,0011 | | 910 | |
| | | | | | 0,0015 | | | |
| SPO7 | 33 | | 461 | | 0,0011 | | 1175 | |
| SPO8 | 26 | 24 ± 5 | 598 | 396 ± 95 | 0,0009 | 0,0015 ± 0,0005 | 1175 | 870 ± 165 |
| | | | | | 0,0014 | | | |
| SPO9 | 16 | | 358 | | 0,0018 | | 694 | |
| SPO11 | 18 | | 429 | | 0,0015 | | 933 | |
| SPO12 | 22 | | 264 | | 0,0021 | | 694 | |
| SPO13 | 20 | | 334 | | 0,0018 | | 766 | |
| SPO14 | 23 | | 334 | | 0,0012 | | 742 | |
| | | | | | 0,0025 | | | |
| SPO15 | 33 | | 264 | | 0,0014 | | 742 | |
| | | | | | 0,0024 | | | |

O Quadro 5.28 resume os resultados apresentados nos Quadros 5.22, 5.23, 5.24, 5.25, 5.26 e 5.27. A análise dos resultados do Quadro 5.28 apontam para que o calcário ensaiado tenha, em princípio, menor risco de se deteriorar que o granito perante a utilização das argamassas de cimento e de cal hidráulica, dado que a saturação crítica é inferior à do granito e o tempo de secagem idêntico.

Quadro 5.28 – Ensaio de evaporação – Quadro-resumo do ensaio de evaporação

| Provete | Sc (%) | Sc | | t(Sc) | | q | | T _{Secagem} | |
|---------|--------|--------------|-----|--------------|---------------------------------------|--|------|----------------------|--|
| | | Média+dp (%) | (h) | Média+dp (h) | (g cm ⁻² h ⁻¹) | Média+dp (g cm ⁻² h ⁻¹) | (h) | Média+dp (h) | |
| CA1 1 | 43 | 42 ± 3 | 174 | 240 ± 44 | 0,0017 | 0,0013 ± 0,0003 | 1944 | 1944 ± 0 | |
| CA1 2 | 38 | | 262 | | 0,0013 | | 1944 | | |
| CA1 3 | 44 | | 262 | | 0,0011 | | 1944 | | |
| CA1 4 | 44 | | 262 | | 0,0010 | | 1944 | | |
| CA2 1 | 65 | 67 ± 2 | 173 | 187 ± 9 | 0,0008 | 0,0007 ± 0,0001 | 2616 | 2616 ± 0 | |
| CA2 2 | 70 | | 192 | | 0,0006 | | 2616 | | |
| CA2 3 | 66 | | 192 | | 0,0007 | | 2616 | | |
| CA2 4 | 65 | | 191 | | 0,0007 | | 2616 | | |
| CMA 1 | 70 | 70 ± 2 | 173 | 187 ± 9 | 0,0009 | 0,0009 ± 0,0001 | 2951 | 2951 ± 0 | |
| CMA 2 | 71 | | 192 | | 0,0008 | | 2951 | | |
| CMA 3 | 68 | | 192 | | 0,0009 | | 2951 | | |
| CMA 4 | 72 | | 191 | | 0,0008 | | 2951 | | |
| HLA1 1 | 38 | 42 ± 4 | 310 | 322 ± 46 | 0,0017 | 0,0016 ± 0,0003 | 1704 | 1759 ± 37 | |
| HLA1 2 | 48 | | 358 | | 0,0012 | | 1777 | | |
| HLA1 3 | 42 | | 262 | | 0,0019 | | 1777 | | |
| HLA1 4 | 40 | | 357 | | 0,0014 | | 1777 | | |
| HLA2 1 | 32 | 34 ± 5 | 526 | 484 ± 84 | 0,0013 | 0,0014 ± 0,0001 | 1944 | 1944 ± 0 | |
| HLA2 2 | 33 | | 526 | | 0,0013 | | 1944 | | |
| HLA2 3 | 42 | | 358 | | 0,0016 | | 1944 | | |
| HLA2 4 | 30 | | 526 | | 0,0014 | | 1944 | | |
| HLMA 1 | 59 | 49 ± 12 | 358 | 388 ± 60 | 0,0013 | 0,0015 ± 0,0003 | 2951 | 2909 ± 84 | |
| HLMA 2 | 59 | | 358 | | 0,0013 | | 2951 | | |
| HLMA 3 | 44 | | 358 | | 0,0018 | | 2951 | | |
| HLMA 4 | 34 | | 477 | | 0,0017 | | 2784 | | |
| APDF1 1 | 31 | 21 ± 8 | 839 | 731 ± 99 | 0,0011 | 0,0015 ± 0,0003 | 2521 | 1831 ± 501 | |
| APDF1 2 | 17 | | 743 | | 0,0016 | | 1873 | | |
| APDF1 3 | 23 | | 599 | | 0,0017 | | 1512 | | |
| APDF1 4 | 14 | | 742 | | 0,0016 | | 1416 | | |
| APDF2 1 | 20 | 18 ± 3 | 550 | 562 ± 25 | 0,0019 | 0,0019 ± 0,0001 | 1661 | 1654 ± 106 | |
| APDF2 2 | 21 | | 550 | | 0,0018 | | 1661 | | |
| APDF2 3 | 14 | | 599 | | 0,0019 | | 1775 | | |
| APDF2 4 | 16 | | 550 | | 0,0020 | | 1517 | | |

Quadro 5.29 – Ensaio de evaporação – Quadro-resumo do ensaio de evaporação (continuação)

| Provete | Sc | | t(Sc) | | q | T _{Secagem} | |
|--------------------------|-----|-----------------|-------|-----------------|--------|----------------------|-----------------|
| | (%) | Média+dp (%) | (h) | Média+dp (h) | | (h) | Média+dp (h) |
| PASTA1 55 ^(*) | | | 1441 | | 0,0004 | 3076 ^(*) | |
| PASTA2 69 | | 61 ± 7 | 1006 | 1097 ± 254 | 0,0004 | 3023 | 2785 ± 335 |
| PASTA3 56 | | | 1104 | | 0,0005 | 2688 | |
| PASTA4 63 | | | 838 | | 0,0006 | 2354 | |
| H47 61 | | | 25 | | 0,0012 | 334 | |
| H49 57 | | | 25 | | 0,0013 | 406 | |
| H54 36 | | 50 ± 10 | 124 | 68 ± 41 | 0,0007 | 694 | 575 ± 178 |
| H55 55 | | | 50 | | 0,0013 | 528 | |
| H144 50 | | | 79 | | 0,0016 | 742 | |
| H145 42 | | | 103 | | 0,0022 | 743 | |
| HMV 58.2 | 42 | | 74 | | 0,0012 | 743 | |
| HMV 58.3 | 40 | 53 ± 14 | 54 | 49 ± 19 | 0,0017 | 910 | 928 ± 180 |
| HMV 59.1 | 62 | | 30 | | 0,0014 | 885 | |
| HMV 59.3 | 69 | | 38 | | 0,0008 | 1175 | |
| ISC2.1 60 | | | 25 | | 0,0016 | 911 | |
| ISC2.2 48 | | | 46 | | 0,0011 | 742 | |
| ISC3.3 37 | | 53 ± 11 | 125 | 63 ± 49 | 0,0016 | 910 | 903 ± 154 |
| ISC4.4 47 | | | 124 | | 0,0014 | 766 | |
| ISC5.1 62 | | | 31 | | 0,0014 | 1175 | |
| ISC5.2 65 | | | 25 | | 0,0021 | 911 | |
| MSM4.2 74 | | | 54 | | 0,0011 | 911 | |
| MSM4.3 40 | | 61 ± 15 | 102 | 126 ± 58 | 0,0014 | 742 | 977 ± 191 |
| MSM6.1 68 | | | 171 | | 0,0008 | 1080 | |
| MSM6.2 61 | | | 175 | | 0,0010 | 1175 | |
| MLB4 48 | | | 54 | | 0,0016 | 742 | |
| MLB5 34 | | 42 ± 6 | 99 | 76 ± 19 | 0,0013 | 862 | 899 ± 140 |
| MLB7 42 | | | 79 | | 0,0014 | 911 | |
| MLB10 45 | | | 73 | | 0,0013 | 1079 | |

Quadro 5.30 – Ensaio de evaporação – Quadro-resumo do ensaio de evaporação (continuação)

| Provete | Sc | | t(Sc) | | q | | T _{Secagem} | |
|---------|-----|-----------------|-------|-----------------|---------------------------------------|---|----------------------|-----------------|
| | (%) | Média+dp (%) | (h) | Média+dp (h) | (g cm ⁻² h ⁻¹) | Média+dp (g cm ⁻² h ⁻¹) | (h) | Média+dp (h) |
| SPO3 | 23 | | 461 | | 0,0013 | | 863 | |
| SPO4 | 26 | | 367 | | 0,0016 | | 839 | |
| SPO5 | 25 | | 430 | | 0,0010 | | 910 | |
| | | | | | 0,0016 | | | |
| SPO6 | 18 | | 454 | | 0,0011 | | 910 | |
| | | | | | 0,0015 | | | |
| SPO7 | 33 | | 461 | | 0,0011 | | 1175 | |
| SPO8 | 26 | 24 ± 5 | 598 | 396 ± 95 | 0,0009 | 0,0015 ± 0,0005 | 1175 | 870 ± 165 |
| | | | | | 0,0014 | | | |
| SPO9 | 16 | | 358 | | 0,0018 | | 694 | |
| SPO11 | 18 | | 429 | | 0,0015 | | 933 | |
| SPO12 | 22 | | 264 | | 0,0021 | | 694 | |
| SPO13 | 20 | | 334 | | 0,0018 | | 766 | |
| SPO14 | 23 | | 334 | | 0,0012 | | 742 | |
| | | | | | 0,0025 | | | |
| SPO15 | 33 | | 264 | | 0,0014 | | 742 | |
| | | | | | 0,0024 | | | |

5.4. CICLOS DE MOLHAGEM E SECAGEM

A água pode ser considerada como um dos principais catalisadores para o aparecimento de deteriorações nas pedras. Nas construções pode ter diversas origens, desde na fase de construção (aplicação de argamassas, molhagem das pedras que vão estar em contacto com as argamassas, água das próprias pedras e água da chuva no interior da construção devido à inexistência de coberturas), água no interior do edifício (água sob a forma líquida – água limpa que entra no edifício sob pressão em tubagens e água suja que em geral sai do edifício por gravidade em tubagens; água sob a forma de vapor – respiração humana, atividades higiénicas e atividades culinárias) e água do exterior do edifício (chuva, água freática, nevoeiro e vapor de água).

Com o intuito de simular estas ações, realizaram-se ciclos de molhagem e secagem nos seguintes tipos de provetes, compostos por duas patelas unidas por junta de argamassa:

- Patelas de granito e junta de argamassa de cimento;
- Patelas de granito e junta de argamassa de cal hidráulica;
- Patelas de granito e junta de argamassa de cal aérea;
- Patelas de calcário e junta de argamassa de cimento;
- Patelas de calcário e junta de argamassa de cal hidráulica;
- Patelas de calcário e junta de argamassa de cal aérea.

O Quadro 5.29 apresenta a constituição de cada um dos provetes ensaiados constituídos por duas patelas e uma junta de argamassa.

Quadro 5.31 – Constituição dos provetes do ensaio de molhagem e secagem

| Patelas (tipo de rocha) | Patela | Junta | Patela |
|--------------------------|-----------|-------|-----------|
| Granitos | SGA 01.1 | CMA | SGA 01.2 |
| | SGA 02.1 | HLMA | SGA 02.2 |
| | SGA 03.1 | PASTA | SGA 03.2 |
| | H48.1 | CMA | H48.2 |
| | H145 | CMA | H152 |
| | H150.1 | CMA | H150.2 |
| | H151.1 | CMA | H151.2 |
| | H153.1 | HLMA | H153.2 |
| | H149 | HLMA | H144 |
| | H154 | PASTA | H143 |
| | H147.1 | PASTA | H147.2 |
| | MSM3.1 | CMA | MSM7.3.3 |
| | MSM7.3.1 | CMA | MSM7.3.2 |
| | MSM7.2.1 | HLMA | MSM4.1.1 |
| | MSM7.2.2 | PASTA | MSM4.1.2 |
| | HMV58.1.1 | CMA | HMV58.1.2 |
| | MLB11.1 | CMA | MLB11.2 |
| | MLB4 | HLMA | MLB3 |
| Calcário | SPO 1.2 | CMA | SPO 2.2 |
| | SPO 1.1 | CMA | SPO 10.1 |
| | SPO 1.3 | HLMA | SPO 2.1 |
| | SPO 2.3 | PASTA | SPO 10.2 |

SGA – Convento de São Gonçalo, Amarante;

H – Hospital de Santo António, Porto;

MSM – Mosteiro de São Miguel de Refojos, Cabeceiras de Basto;

HMV – Hospital da Santa Casa da Misericórdia, Viana do Castelo;

MLB – Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio, Matosinhos;

SPO - Santuário do Senhor Jesus da Pedra, Óbidos;

CMA – Argamassa de cimento CEM I 42.5R com meia areia (1:3);

HLMA – Argamassa de cal hidráulica HL5 com meia areia (1:3);

PASTA – Argamassa de cal aérea com meia areia (1:3).

5.4.1. METODOLOGIA DE ENSAIO

Com o objetivo de se realizar o maior número possível de ciclos diários, seguiu-se a seguinte ordem de ensaio durante cada um dos dias da semana:

- Imersão dos dois milímetros inferiores da patela inferior com ascensão da água por capilaridade durante 2 horas;
- Secagem dos provetes, no interior de uma sala com temperatura e humidade relativa controlada, regulada para uma temperatura de 20°C e humidade relativa de 50% durante 3 horas;
- Nova imersão dos dois milímetros inferiores da patela inferior com ascensão da água por capilaridade durante 3 horas;
- Secagem dos provetes no interior da sala climatizada durante 16 horas.

Das 17h de sexta feira até às 9h de segunda feira seguinte, os provetes estiveram em fase de secagem. O ensaio decorreu conforme o exposto nas quatro primeiras semanas, na sexta e sétima. Na quinta, oitava e nona semanas os provetes estiveram sempre em secagem.

A Figura 5.13 apresenta o cronograma do ensaio de molhagem e secagem, estando representada a azul a fase de molhagem e a vermelho a fase de secagem.

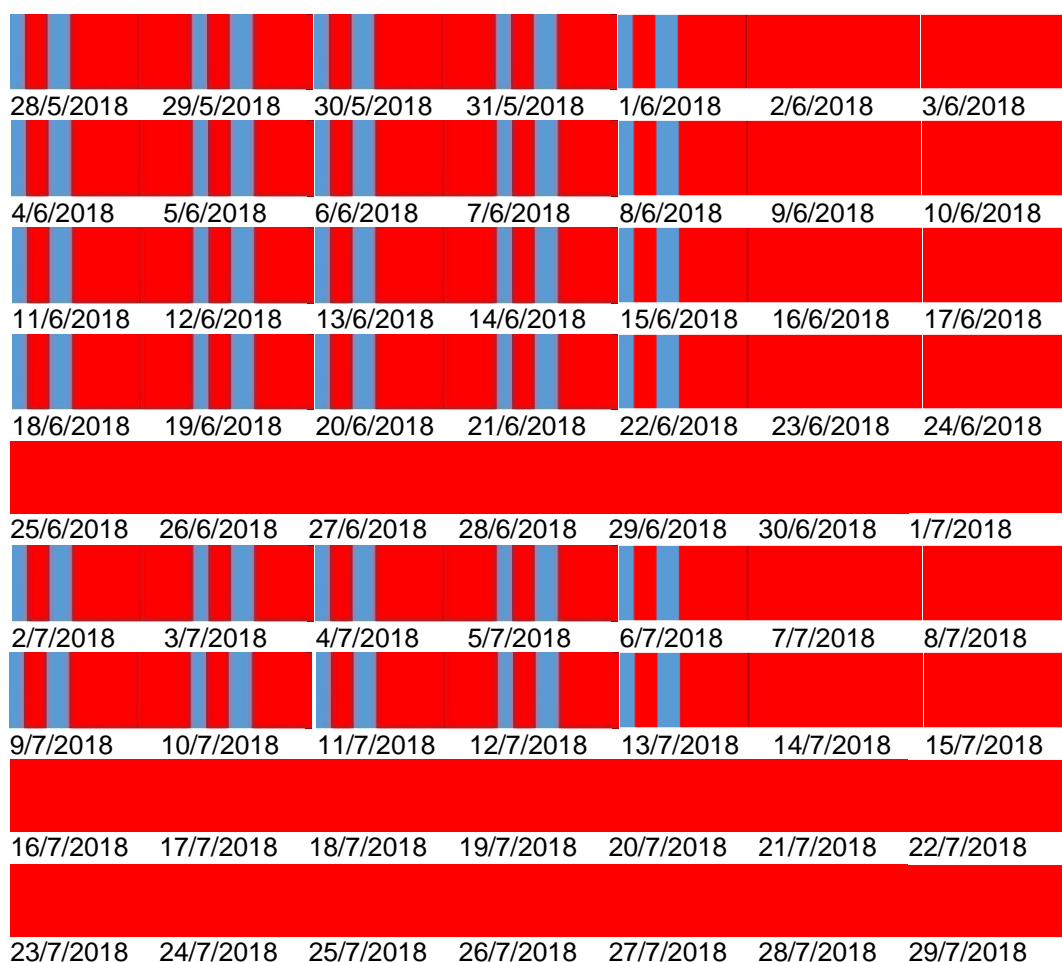


Figura 5.13 – Cronograma do ensaio de molhagem e secagem

Com o intuito de evitar a contaminação das amostras, dividiu-se toda a amostragem em três séries distintas:

- Provetes de patelas de calcário em água da chuva;
- Provete de patelas de granito em água da chuva;
- Provete de patelas de granito em água destilada.

Optou-se pela utilização maioritária de água da chuva, pois é uma fonte de minerais de sais solúveis, que interferem na deterioração da pedra. A água utilizada no ensaio foi recolhida na cobertura do Edifício H da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, recorrendo a recipientes de plástico. A água foi conservada a uma temperatura de 5°C até à realização do ensaio. Begonha *et al.* (1996) realizaram análises químicas de vinte amostras de água da chuva, recolhidas no Hospital de Santo António, no Porto e de vinte e cinco no Edifício do Largo do Paço, em Braga. Os autores verificaram que as amostras de água da chuva do Porto e de Braga apresentavam teores nos iões sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) numa proporção de 1:1, isto é, igual à estequiométrica da halite (NaCl) como mostra a Figura 5.14 em que se apresentam os dois ajustes obtidos através do método dos mínimos quadrados dos resultados das análises químicas das águas do Porto e de Braga. Estes resultados evidenciam uma forte influência do mar nas duas cidades.

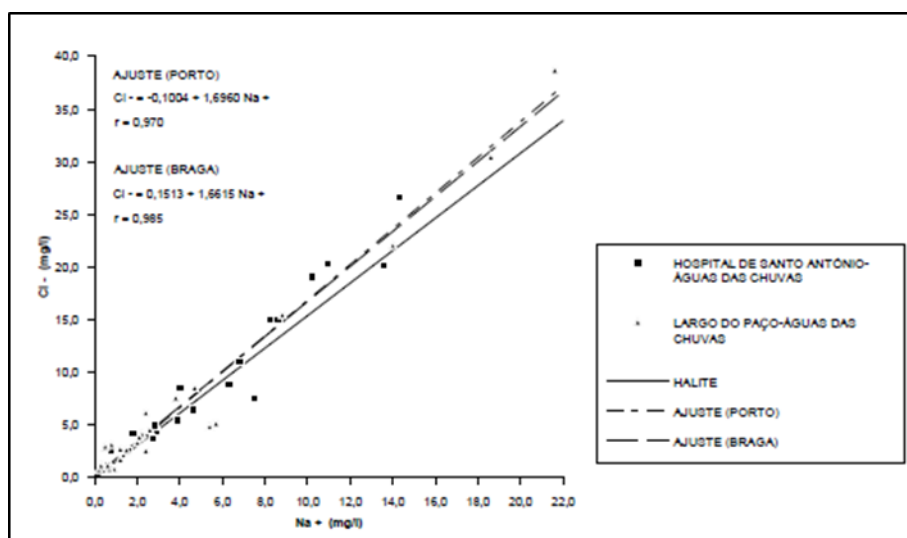


Figura 5.14 – Teores dos iões sódio e cloro das águas das chuvas do Porto e de Braga (Begonha et al., 1996, Begonha, 1997, 2001)

Além disso, Begonha et al., (1996) e Begonha (1997, 2001) mostraram que em ambientes urbanos e/ou industriais como a cidade do Porto, as concentrações dos iões cálcio (Ca^{2+}) e sulfato (SO_4^{2-}) nas águas da chuva estão numa proporção de 1:1, ou seja, igual a estequiométrica do gesso, apesar da dispersão dos resultados, conforme se pode constatar na Figura 5.15. Estes resultados explicam a formação generalizada de crostas negras, constituídas essencialmente por gesso, no Porto.

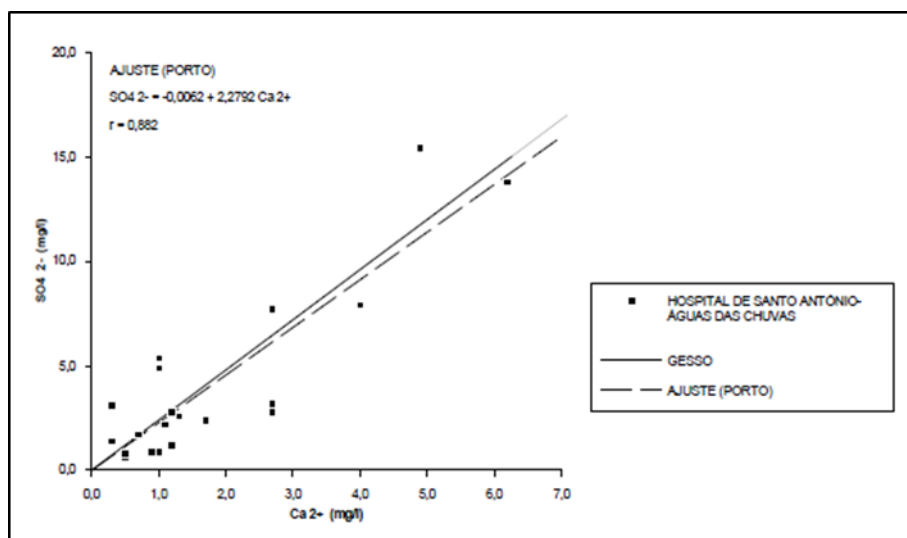


Figura 5.15- Teores dos iões cálcio e sulfato das águas das chuvas do Porto (Begonha et al., 1996, Begonha, 1997, 2001)

Por outro lado, os mesmos autores verificaram que nas amostras de água da chuva de Braga os teores de cálcio e sulfato têm proporção muito diferente da de 1:1, afastando-se muito da relação estequiométrica do gesso conforme mostra a Figura 5.16 em que não se obteve um ajuste significativo entre os teores dos dois iões. Assim, a evaporação da água das chuvas de Braga não promove a cristalização do gesso justificando com a escassez ou mesmo inexistência de crostas negras na cidade.

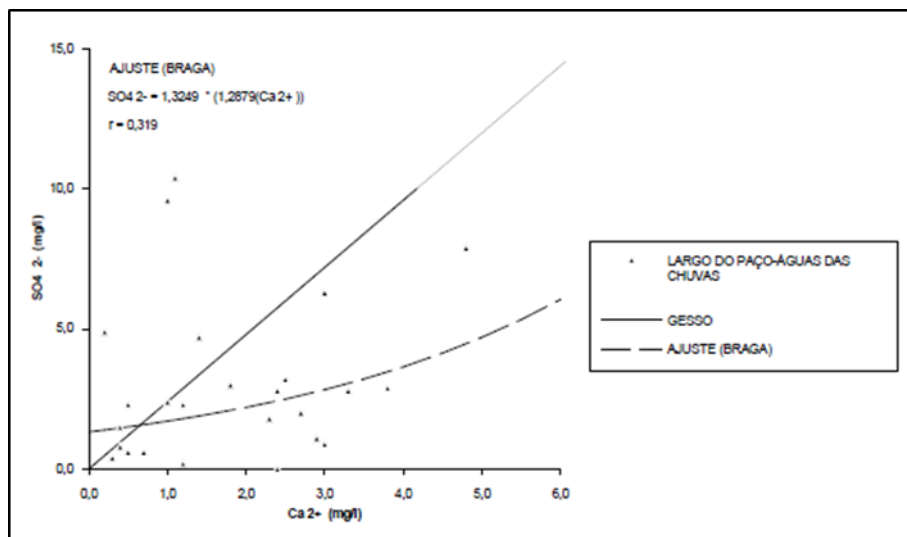


Figura 5.16 - Teores dos iões cálcio e sulfato das águas das chuvas de Braga (Begonha et al., 1996, Begonha, 1997, 2001)

Os autores realizaram ainda análises ao pH, verificando um maior intervalo de dispersão para as águas recolhidas em Braga (4,8 – 7,6), do que para as águas recolhidas no Porto (4,7 – 6,2). Avaliando os valores do pH obtidos pelos autores, verifica-se uma predominância de pH negativo, o que por si só

poderá também justificar a ação negativa da água sobre as rochas carbonatadas, nomeadamente os calcários, que são solúveis em soluções ácidas.

6

ESTUDO MINERALÓGICO

6.1. INTRODUÇÃO

O estudo mineralógico incidiu sobre três das sete amostras de eflorescências pulverulentas recolhidas na fachada Este do Hospital Santo António e sobre quatro eflorescências formadas em provetes/patelas que foram submetidos ao ensaio de molhagem e secagem, conforme descrito no Capítulo 5.4.

As eflorescências pulverulentas da fachada Este do Hospital de Santo António no Porto foram recolhidas sobre o granito do Porto, em zonas adjacentes à aplicação de argamassas de cimento nas juntas ou sobre as próprias juntas.

As eflorescências associadas ao ensaio de molhagem e secagem foram obtidas na superfície de patelas de granito do Hospital de Santo António, do Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Viana do Castelo e do Mosteiro de São Miguel de Refojos e ainda do calcário recolhido nas imediações do Santuário do Senhor Jesus da Pedra, em Óbidos, Leiria, ou na superfície de contacto entre a argamassa e as referidas patelas.

Para o efeito, recorreu-se ao microscópio eletrónico de varrimento ambiental de alta resolução (Schottky), com Microanálise por Raios X e Análise de Padrões de Difração de Eletrões Retrodificados: Quanta 400FEG ESEM / EDAX Genesis X4M do Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP). As amostras foram revestidas com filme fino de Au/Pd, por pulverização catódica (*sputtering*), utilizando o equipamento SPI Module Sputter Coater e analisadas por eletrões secundários ou retrodifundidos a 15 keV ou 10 keV e por períodos de tempo útil (*livetime*) iguais a 50 ou 30 segundos.

6.2. ESTUDO MINERALÓGICO DAS EFLORESCÊNCIAS PULVERULENTAS RECOLHIDAS NO HOSPITAL DE SANTO ANTÓNIO

Recolheram-se sete amostras de eflorescências pulverulentas de cor branca recolhidas no rés-do-chão do tetrastilo Sul da fachada Este do Hospital de Santo António no Porto. Imagens destas eflorescências foram apresentadas na Figura 4.3.

A sua localização mostra-se na Figura 6.1 e a descrição, data de recolha e cotas no Quadro 6.1.

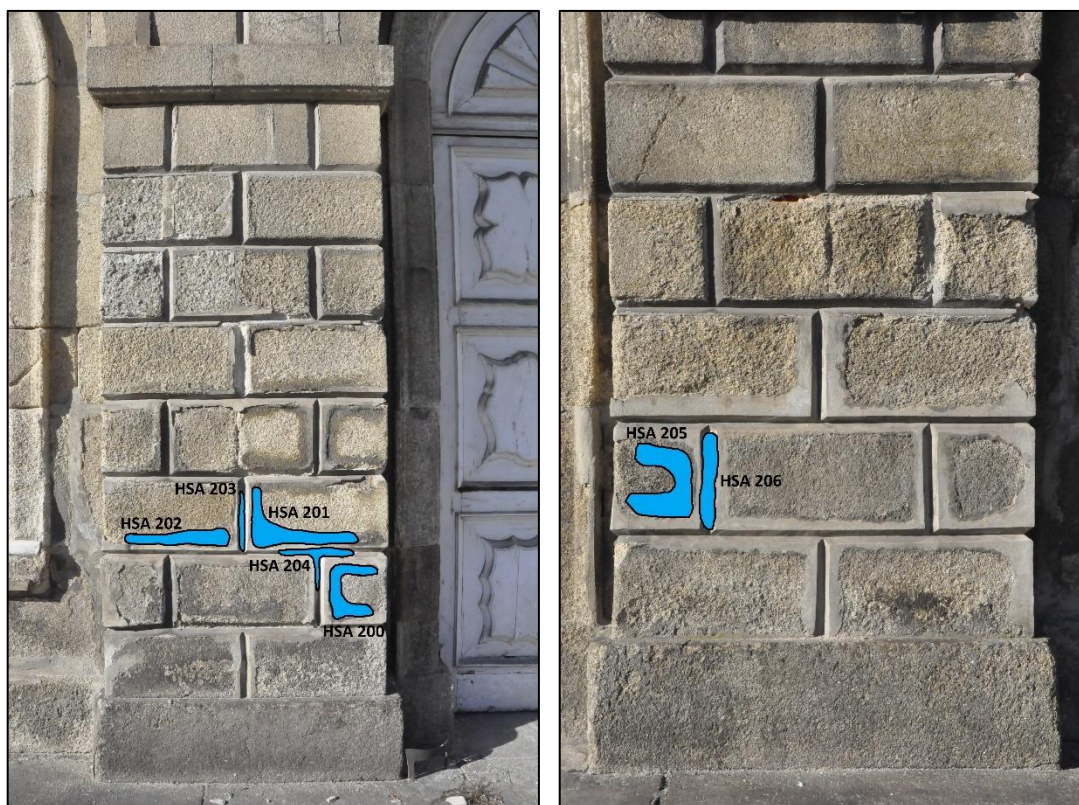


Figura 6.1 – Hospital de Santo António - Localização das eflorescências pulverulentas

Quadro 6.1 – Hospital de Santo António – Descrição, data de recolha e cotas das eflorescências pulverulentas

| Amostra | Local de recolha | Cota (m) | Data |
|---------|--|-------------|------------|
| HSA 200 | Eflorescência de cor branca pulverulenta recolhida com pincel sobre granito perto de argamassa de cimento | 0,85 a 0,91 | 2018/02/07 |
| HSA 201 | Eflorescência de cor branca pulverulenta recolhida com pincel sobre granito perto de argamassa de cimento | 1,18 a 1,25 | |
| HSA 202 | Eflorescência de cor branca pulverulenta recolhida com pincel sobre granito perto de argamassa de cimento | 1,04 a 1,06 | |
| HSA 203 | Eflorescência de cor branca pulverulenta recolhida com pincel sobre argamassa de cimento em junta vertical | 1,02 a 1,20 | |
| HSA 204 | Eflorescência de cor branca pulverulenta recolhida com pincel sobre argamassa de cimento em junta horizontal | 0,97 a 1,00 | |
| HSA 205 | Eflorescência de cor branca pulverulenta recolhida com pincel sobre granito perto de argamassa de cimento | 0,73 a 0,89 | |
| HSA 206 | Eflorescência de cor branca pulverulenta recolhida com pincel sobre argamassa de cimento em junta vertical | 0,69 a 0,94 | |

As eflorescências HSA 200, HSA 202 e HSA 205 foram observadas e analisadas por MEV, tendo sido identificados os seguintes tipos de minerais de sais solúveis: sulfatos (gesso, thenardite, singenite e aphthitalite), nitratos (nitratite e niter), cloretos (halite) e carbonatos (calcite). As composições mineralógicas de cada uma das eflorescências são apresentadas no Quadro 6.2. As imagens e espectros dos minerais de sais solúveis identificados na eflorescência HSA 202 são apresentados nas Figuras 6.2 a 6.7.

Quadro 6.2 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas eflorescências pulverulentas

| Amostra | Minerais de sais solúveis |
|---------|--|
| HSA 202 | Singenite, gesso, aphthitalite, thenardite, nitratite, halite, niter |
| HSA 205 | Gesso, halite, niter, nitratite, aphthitalite, calcite |
| HSA 200 | Gesso, halite, singenite |

Na eflorescência HSA 202, a singenite aparece sob a forma de cristais euédricos ou subédricos tabulares de maiores dimensões (Figuras 6.2a, 6.2c, 6.2e, 6.7c e 6.7d) ou de menores dimensões (Figuras 6.2a, 6.2c, 6.2d, 6.2e e 6.2f) e cristais subédricos ou anédricos isométricos de maiores dimensões (Figuras 6.3a e 6.3b).

O gesso exibe-se sob a forma de cristais subédricos tabulares (Figuras 6.3c e 6.3e) e cristais subédricos isométricos (Figuras 6.3c e 6.3e).

A aphthitalite mostra-se como cristais euédricos prismáticos (Figuras 6.3f e 6.4c), euédricos ou subédricos tabulares (Figuras 6.4a, 6.4d, 6.6a e 6.7b), euédricos aciculares (Figura 6.4c, 6.6a e 6.7b) e agregados de cristais subédricos de muito pequenas dimensões (Figuras 6.5c, 6.6d e 6.7c).

A thenardite apresenta-se sob a forma de cristais anédricos com figuras de dissolução (Figuras 6.4e, 6.5c e 6.7c) ou como cristais euédricos tabulares (Figuras 6.5a e 6.5b).

A nitratite aparece como cristais anédricos com figuras de dissolução (Figuras 6.5d, 6.5e, 6.6c, 6.6d, 6.6e, 6.7b e 6.7d).

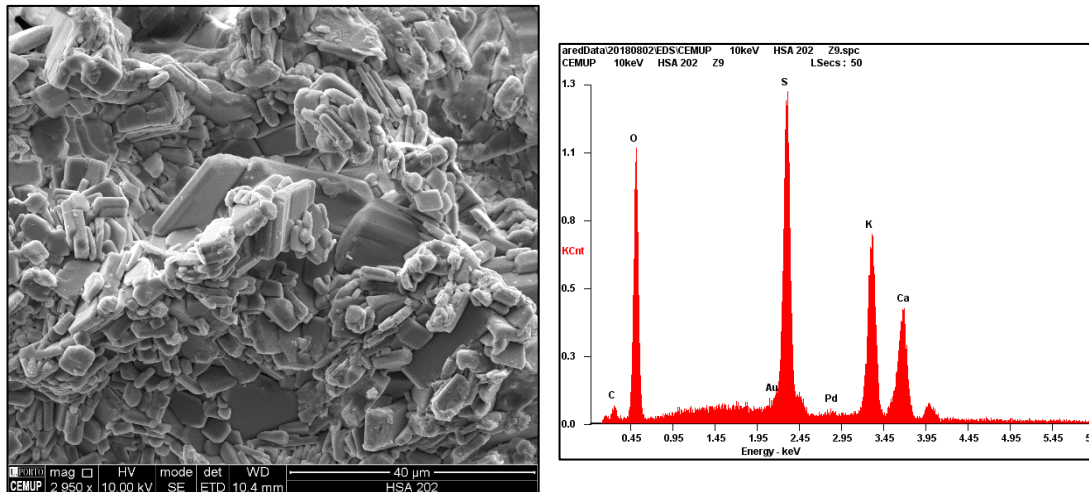
A halite exibe-se sob a forma de cristais subédricos com figuras de dissolução (Figuras 6.6a e 6.6c), cristais anédricos com figuras de dissolução (Figuras 6.6c, 6.6d e 6.6e) e cristais subédricos com as formas simples cubo + octaedro (Figuras 6.7a e 6.7d).

O niter mostra-se sob a forma de cristais anédricos com figuras de dissolução (Figuras 6.6e, 6.7a e 6.7d).

De realçar a cristalização de minerais muito solúveis como a halite, nitratite e niter com minerais de sais menos solúveis como a singenite, thenardite, aphthitalite e gesso (Figuras 6.5d, 6.6a, 6.6d, 6.7b e 6.7d).

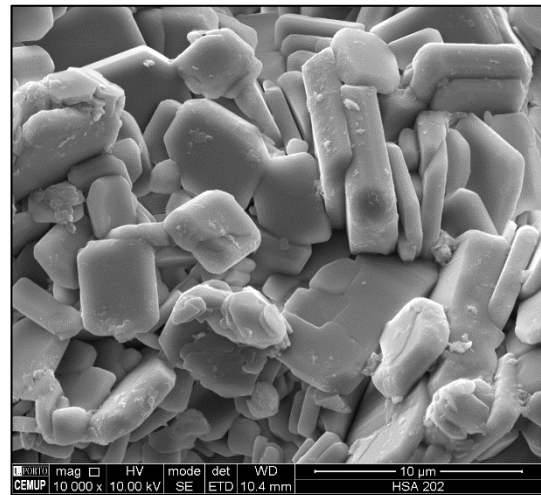
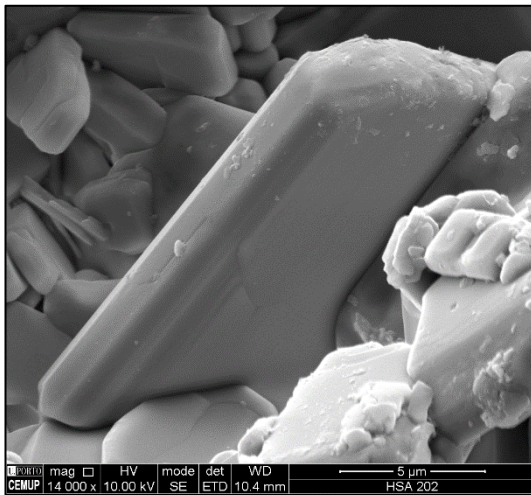
Ainda na eflorescência HSA 202, observou-se uma cinza volante porosa de natureza carbonosa associada à queima incompleta do combustível fóssil carvão (Figuras 6.7d e 6.7e).

As imagens e espectros dos minerais de sais solúveis identificados na eflorescência HSA 205 são apresentados nas Figuras 6.8 a 6.10.



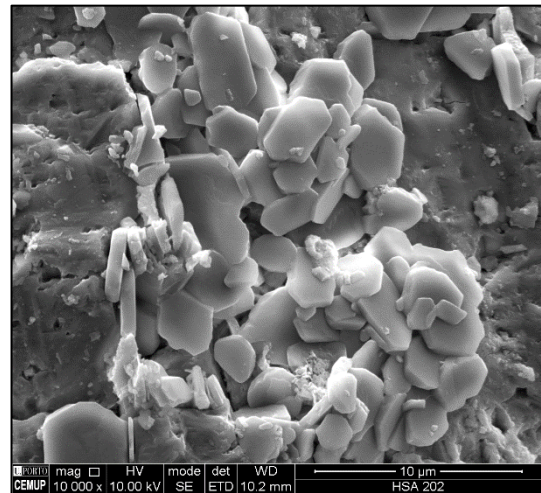
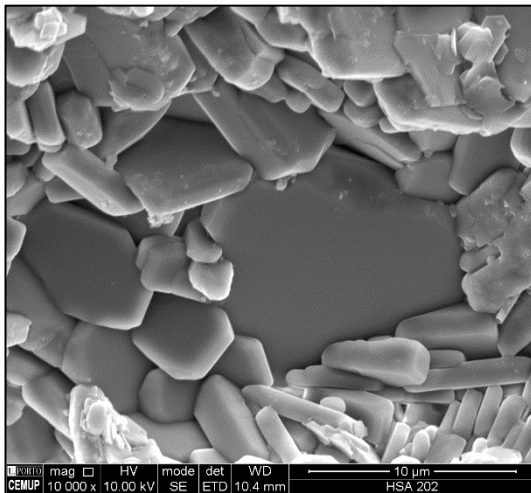
a) Singenite

b) Singenite - Espectro



c) Singenite

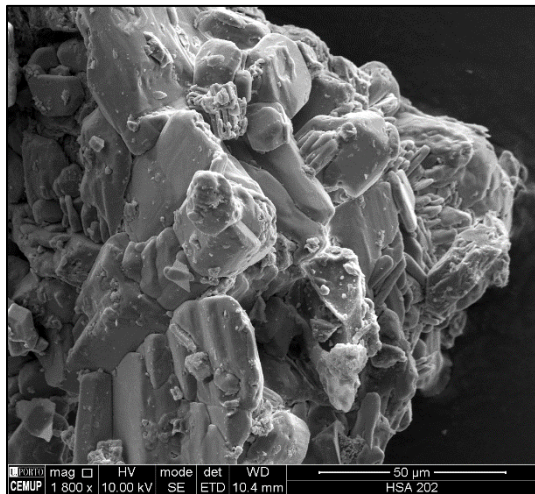
d) Singenite



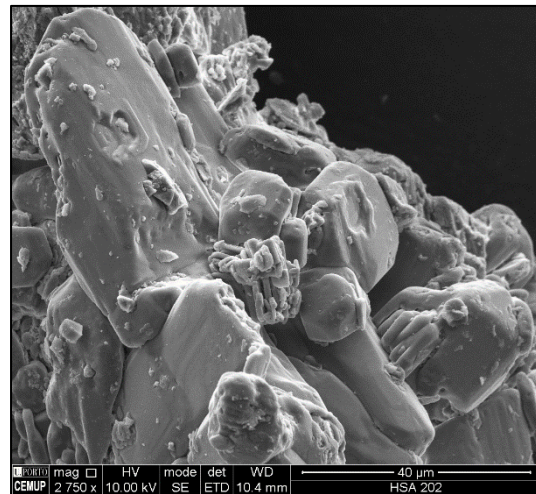
e) Singenite

f) Singenite sobre plagioclase sódica

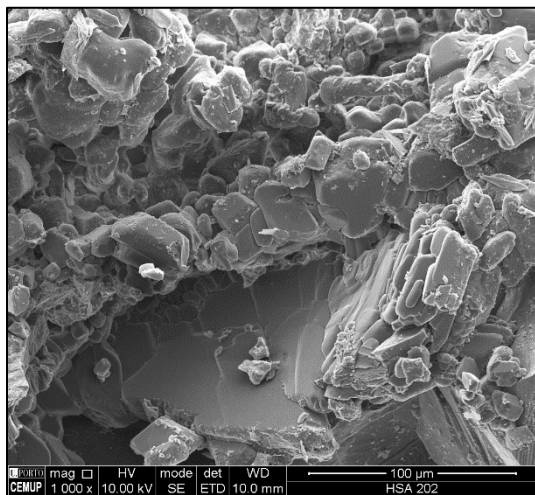
Figura 6.2 – HSA 202 - Singenite – Imagens e espectro obtidos por MEV



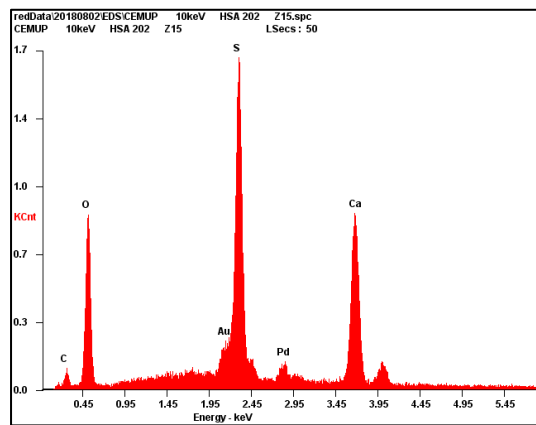
a) Singenite



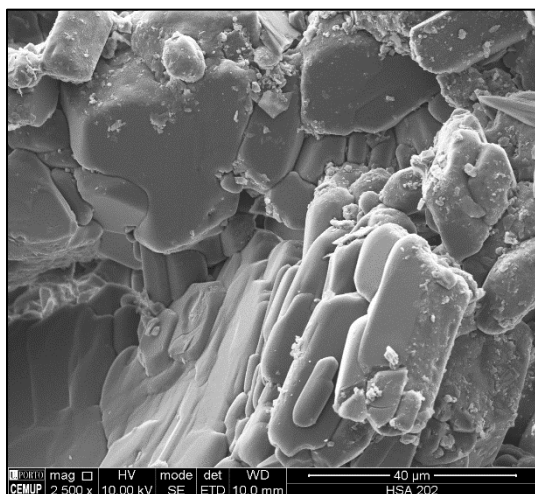
b) Singenite



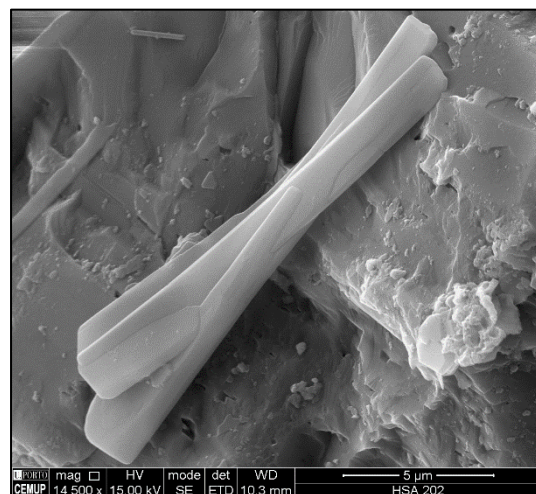
c) Gesso



d) Gesso - Espectro

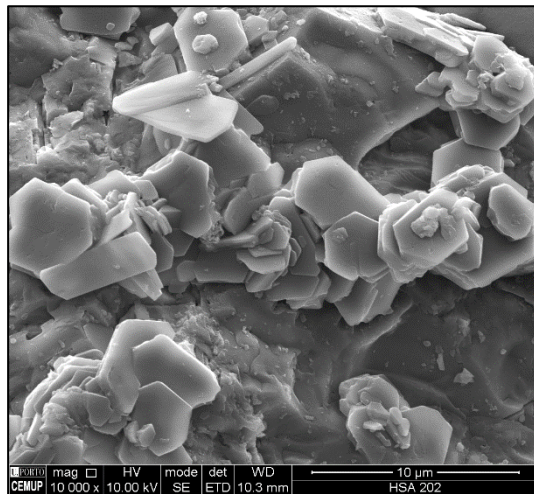


e) Gesso

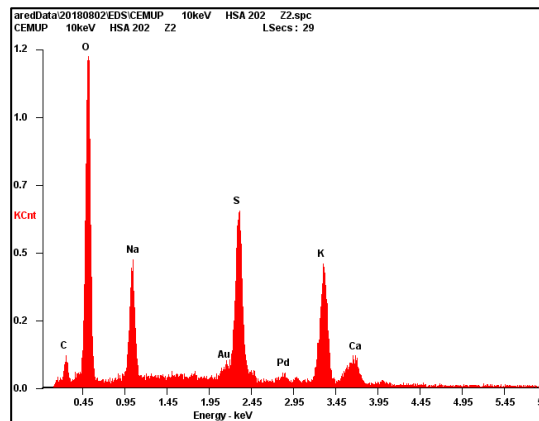


f) Aphthitalite

Figura 6.3 – HSA 202 – Imagens da singenite, gesso e aphthitalite e espectro do gesso obtidos por MEV



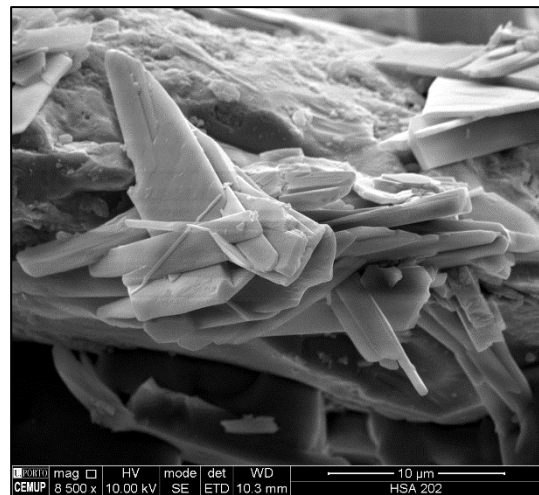
a) Aphthitalite



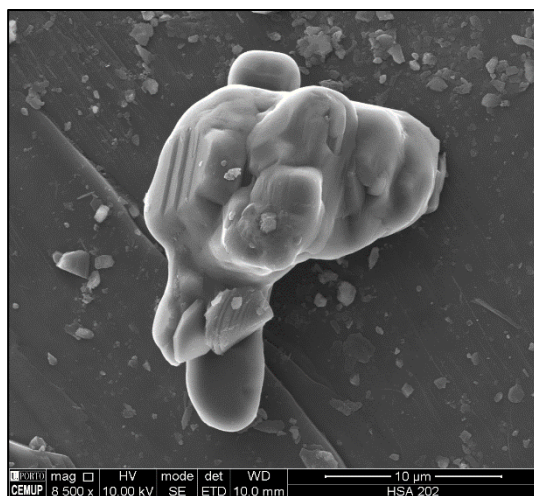
b) Aphthitalite - Espectro



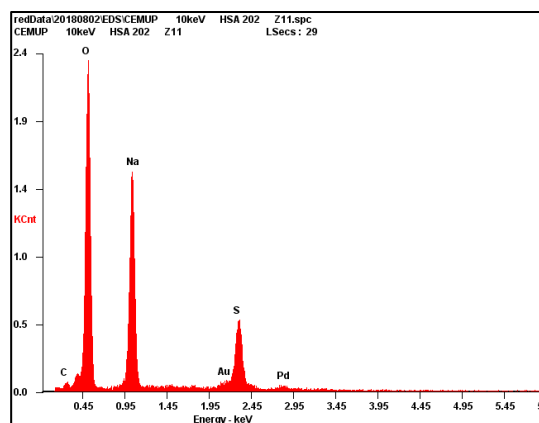
c) Aphthitalite



d) Aphthitalite

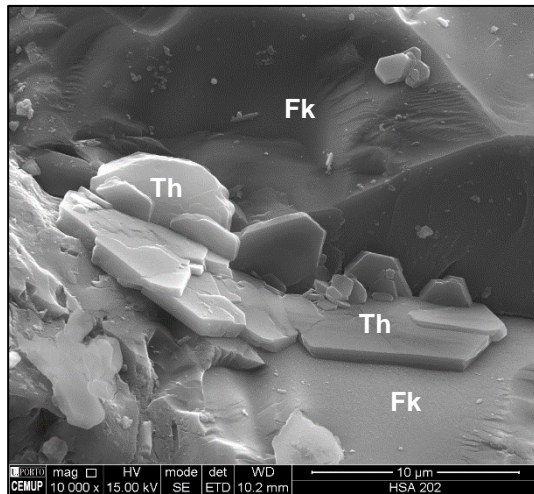


e) Thenardite

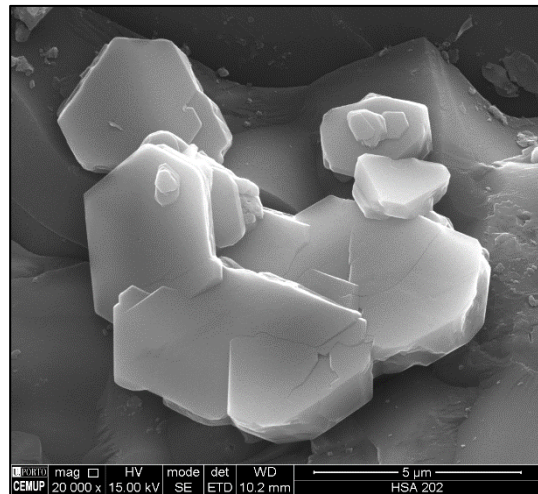


f) Thenardite - Espectro

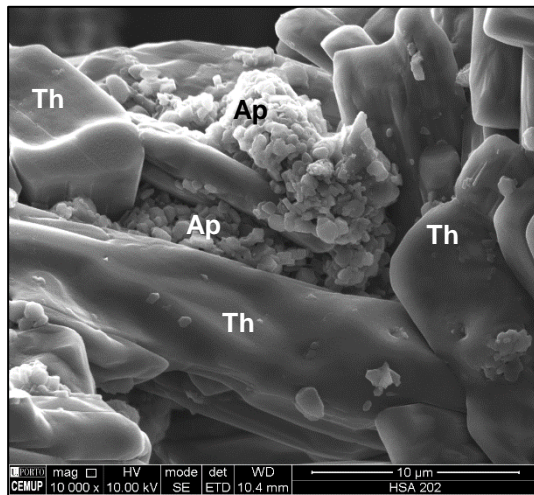
Figura 6.4 – Imagens de aphthitalite e thenardite e respectivos espectros obtidos por MEV



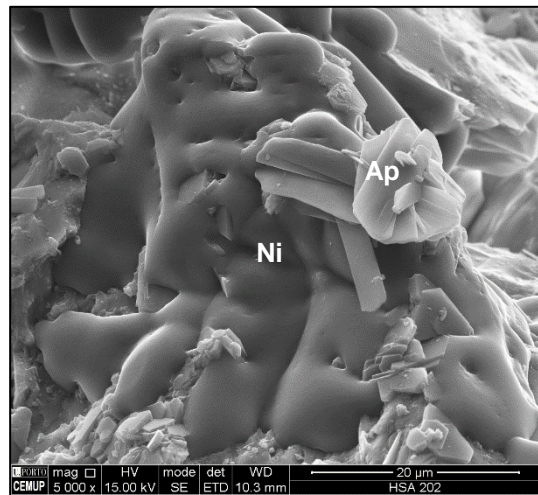
a) Thenardite (Th) sobre feldspato potássico (Fk)



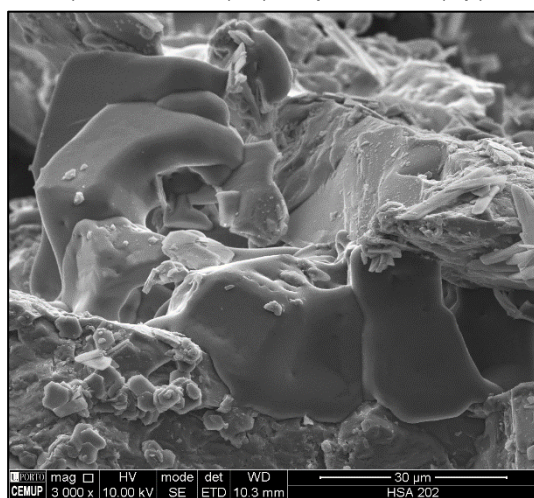
b) Thenardite (Th) sobre feldspato potássico (Fk)



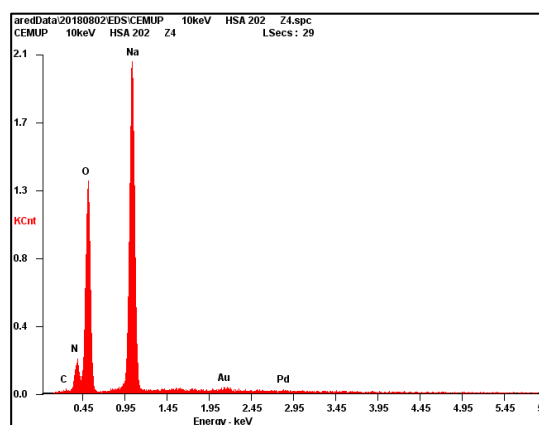
c) Thenardite (Th) e apthitalite (Ap)



d) Nitratite (Ni) e apthitalite (Ap)

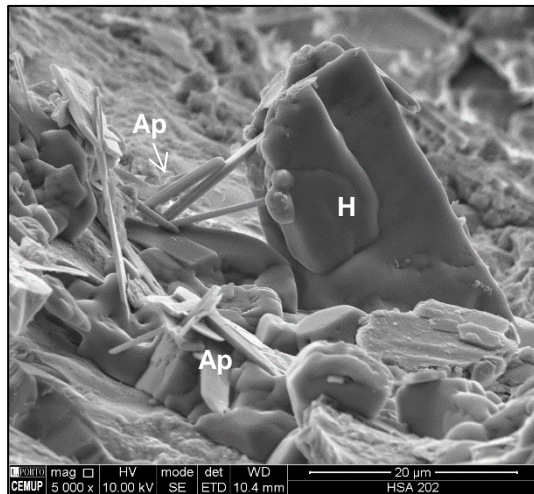


e) Nitratite

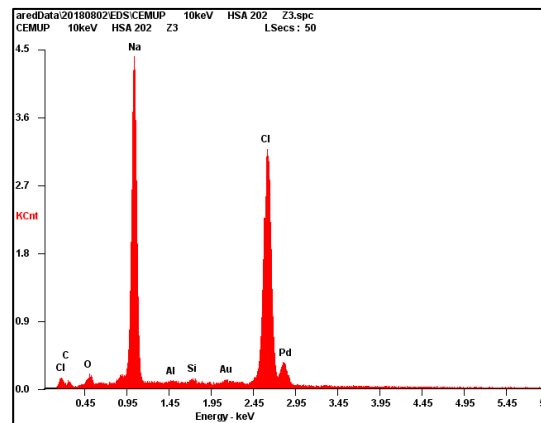


f) Nitratite – Espectro

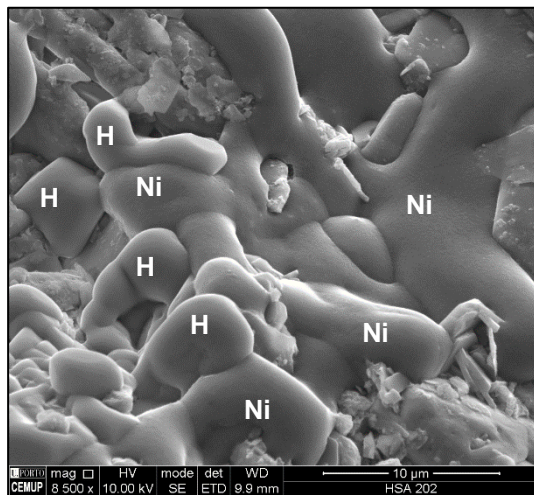
Figura 6.5 – Imagens de thenardite, apthitalite e nitratite e espectro da nitratite obtidos por MEV



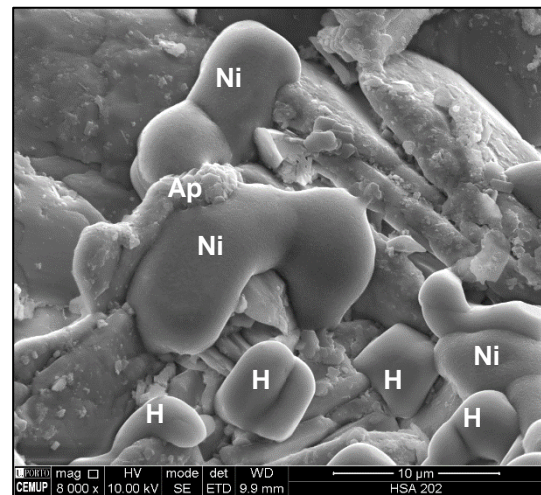
a) Halite (H) e apthitalite (Ap)



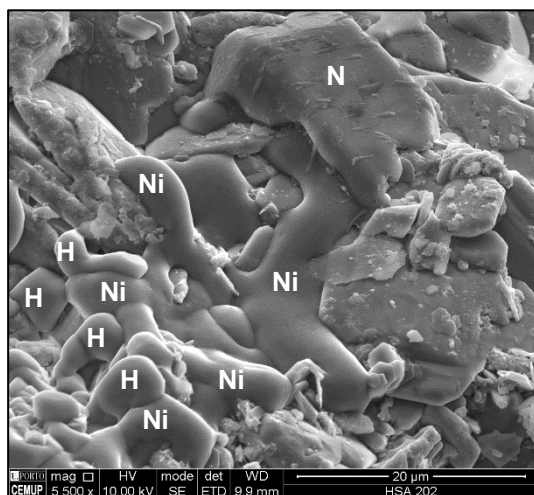
b) Halite - Espectro



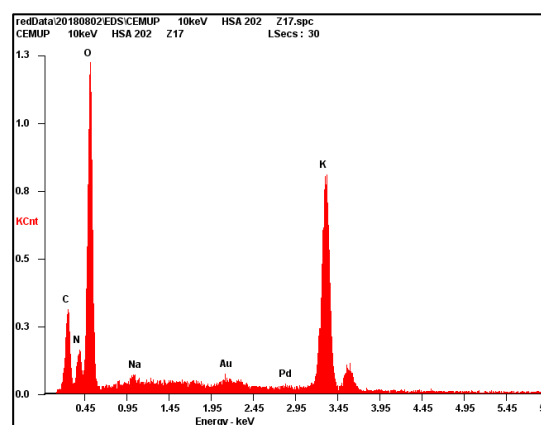
c) Halite (H) e nitratite (Ni)



d) Halite (H), nitratite (Ni) e apthitalite (Ap)

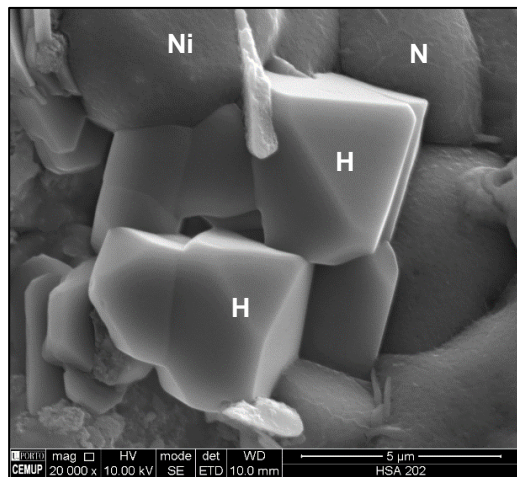


e) Halite (H), nitratite (Ni) e niter (N)

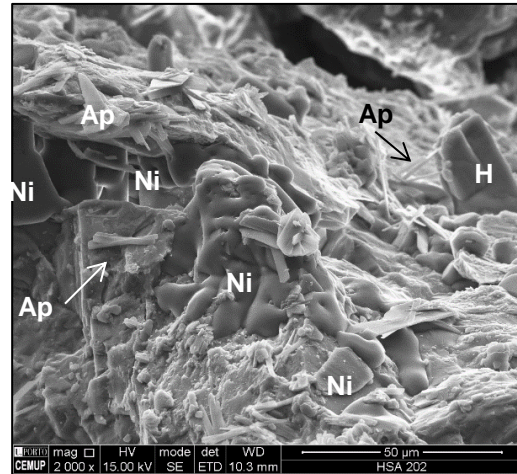


f) Niter - Espectro

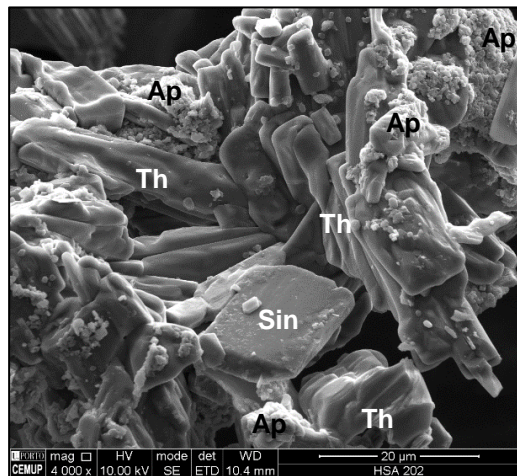
Figura 6.6 – HSA 202 – Imagens de halite, apthitalite, nitratite e niter e espectros da halite e niter obtidos por MEV



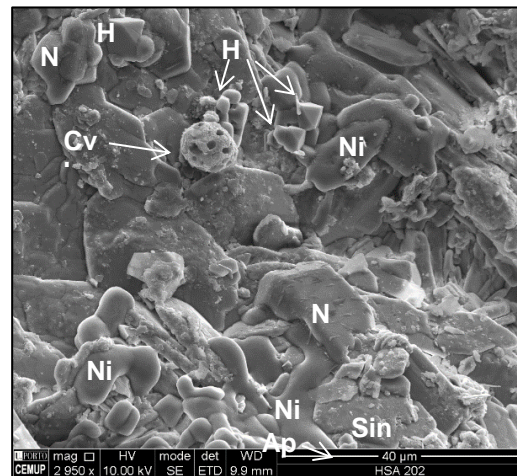
a) Halite (H), nitratite (Ni) e niter (N)



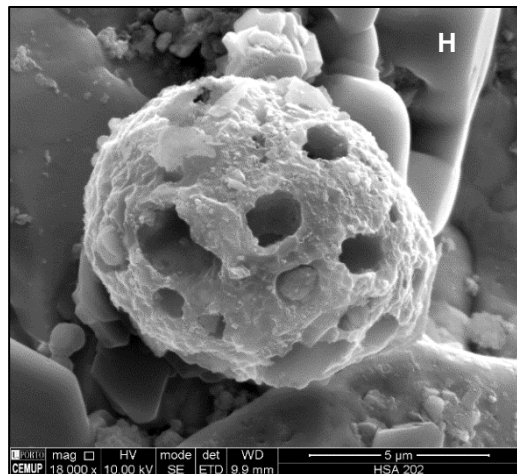
b) Nitratite (Ni), apththitalite (Ap) e halite (H)



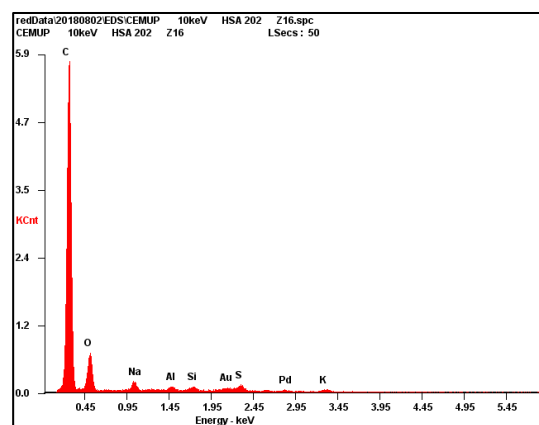
c) Thenardite (Th), singenite (Sin) e apththitalite (Ap)



d) Cinza volante (Cv), halite (H), niter (N), singenite (Sin), nitratite (Ni) e apththitalite (Ap)

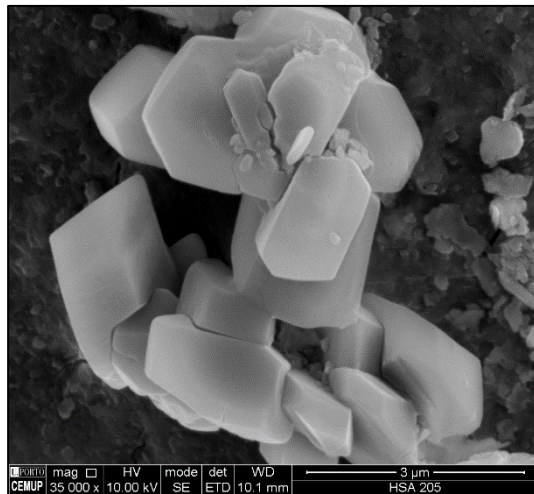


e) Cinza volante porosa carbonosa e halite (H)

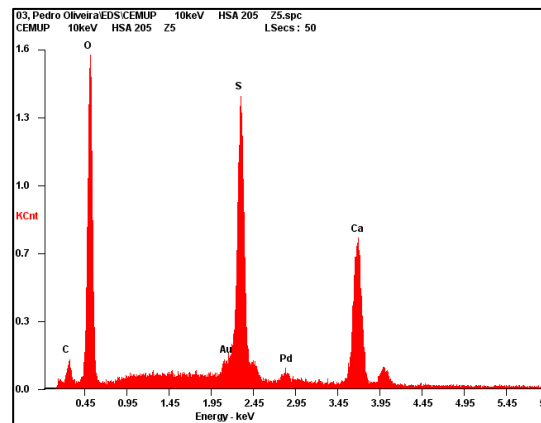


f) Cinza volante porosa carbonosa - Espectro

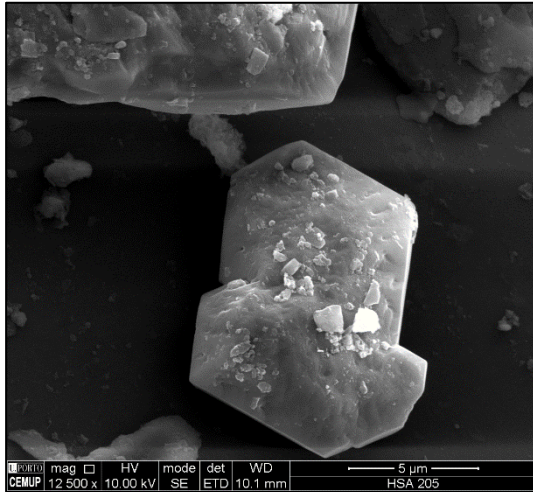
Figura 6.7 – HSA 202 – Imagens de halite, nitratite, niter, apththitalite, thenardite, singenite e cinza volante porosa carbonosa e espectro desta última obtidos por MEV



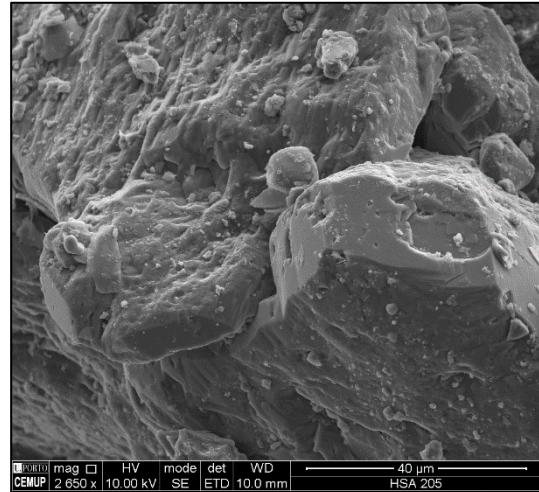
a) Gesso sobre plagioclase sódica



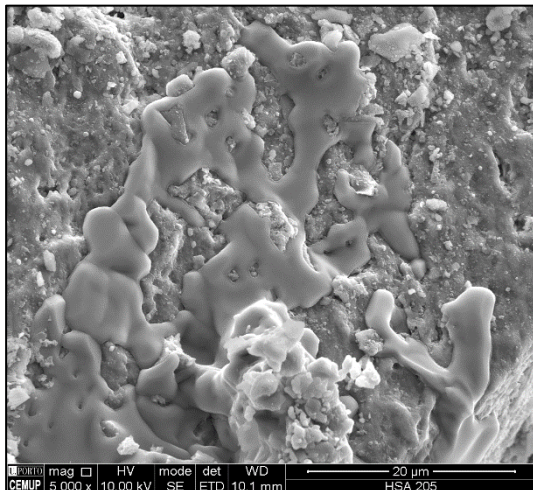
b) Gesso - Espectro



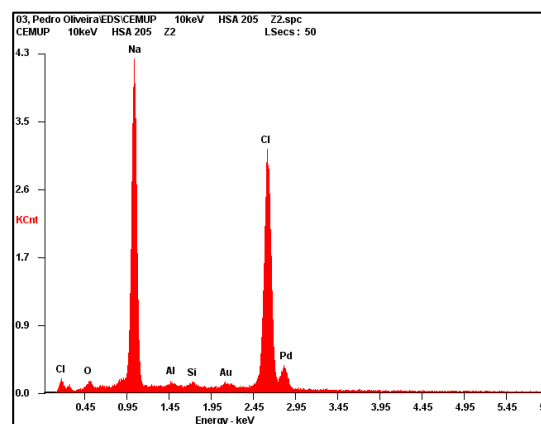
c) Gesso sobre biotite



d) Gesso



e) Halite



f) Halite - Espectro

Figura 6.8 – HSA 205 – Imagens e espectros do gesso e da halite obtidos por MEV

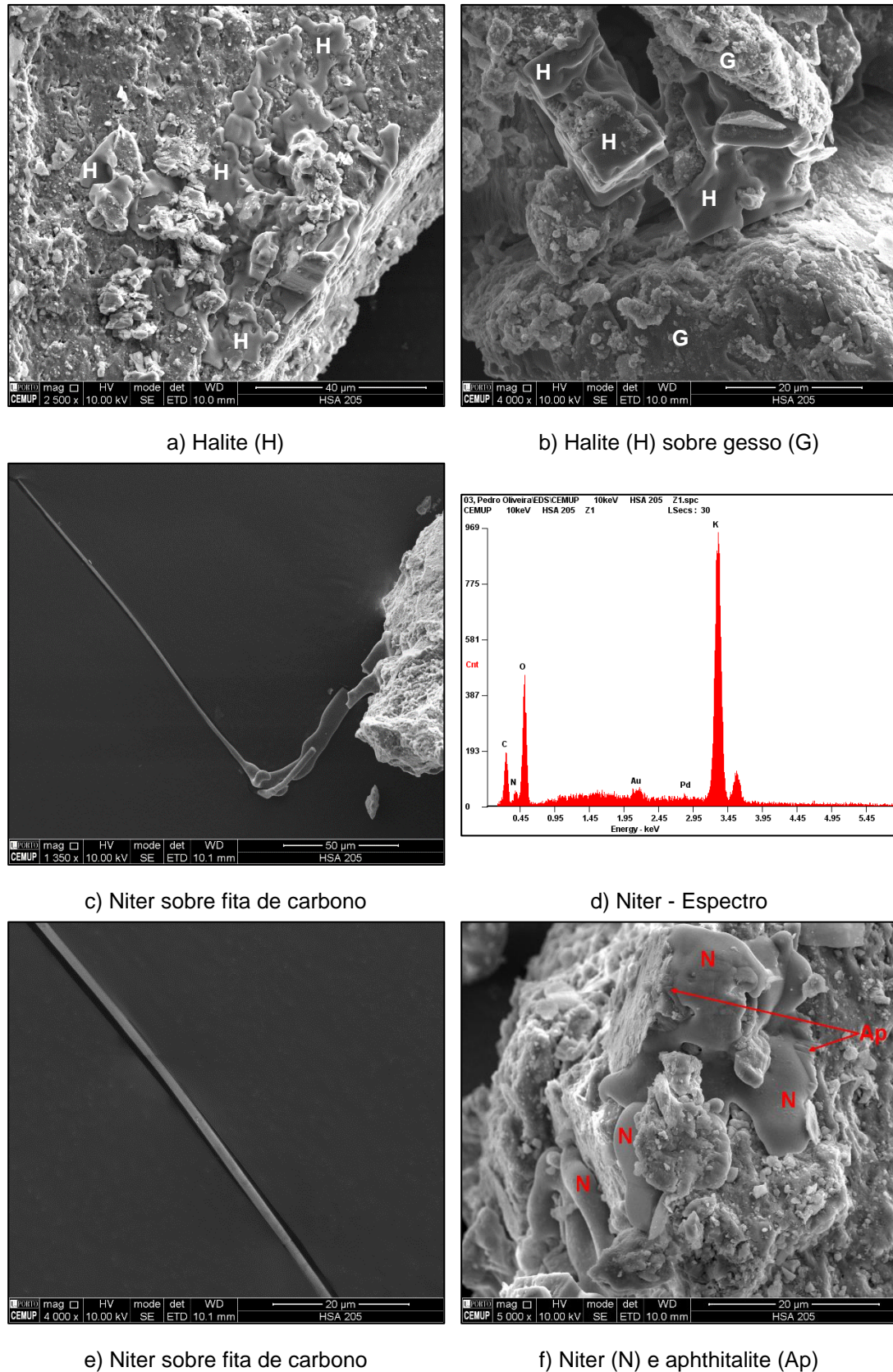


Figura 6.9 – HSA 205 – Imagens de halite, gesso, niter e apththialite e espectro do niter obtidos por MEV

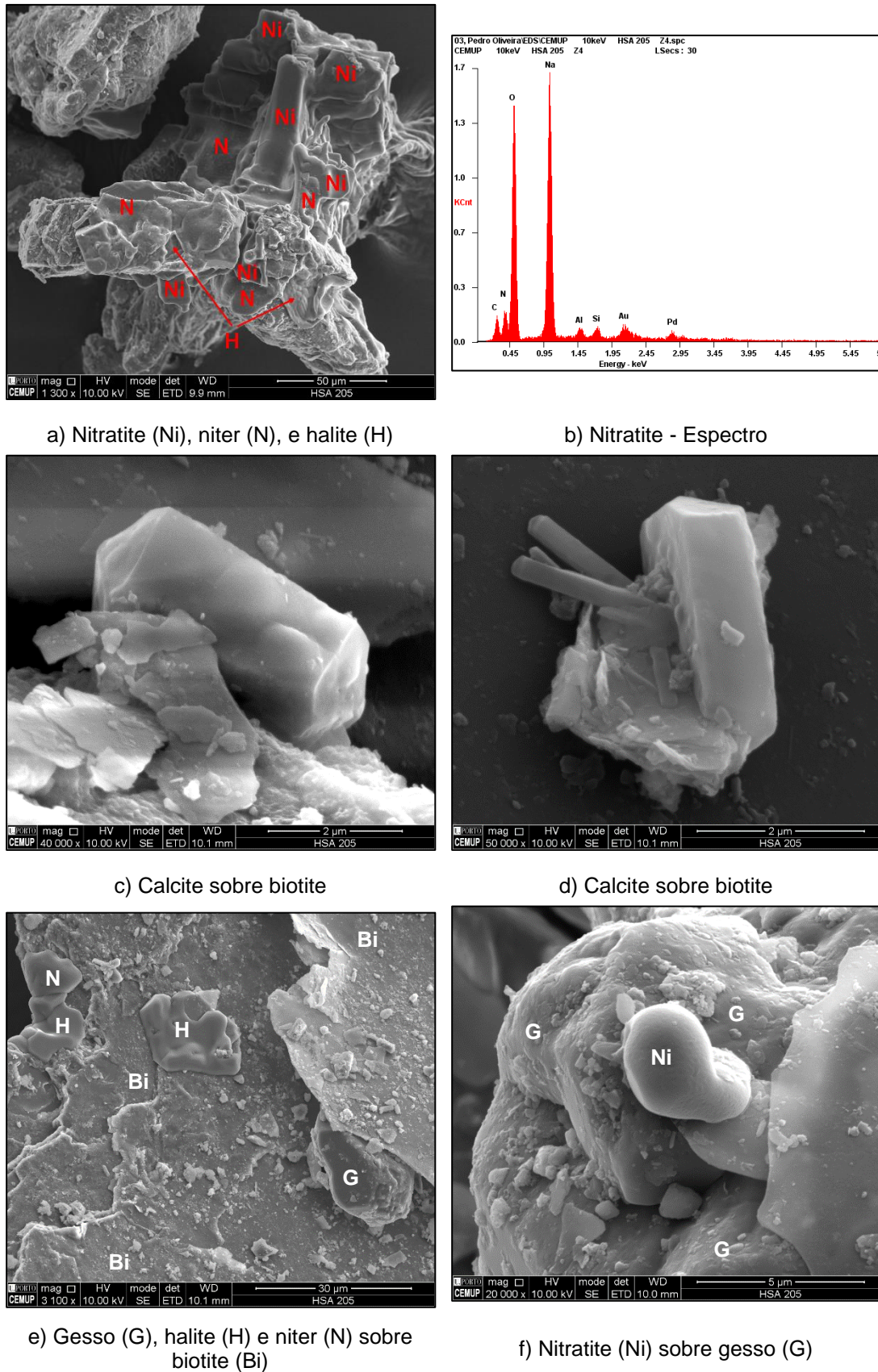


Figura 6.10 – HSA 205 – Imagens de nitratite, niter, halite, calcite e gesso e espectro da nitratite obtidos por MEV

Na eflorescência HSA 205, o gesso exibe-se sob a forma de cristais euédricos ou subédricos tabulares pseudo-hexagonais (Figuras 6.8a e 6.8c) e cristais anédricos isométricos (Figuras 6.8d, 6.9b e 6.10e).

A halite apresenta-se sob a forma de cristais anédricos com figuras de dissolução (Figuras 6.8e, 6.9a 6.9b, 6.10a e 6.10e).

O niter mostra-se como cristais em forma de pêlo (Figuras 6.9c e 6.9e) e cristais anédricos com figuras de dissolução (Figuras 6.9f, 6.10a e 6.10e).

A nitratite aparece como cristais anédricos com figuras de dissolução (Figuras 6.10a e 6.10f).

A apththitalite mostra-se como cristais anédricos com figuras de dissolução (Figura 6.9f).

A calcite surge sob a forma de cristais euédricos prismáticos (Figuras 6.10c e 6.10d)

Tal como na eflorescência HSA 202, constata-se, na eflorescência HSA 205, a cristalização de minerais muito solúveis como a halite, nitratite e niter com minerais de sais menos solúveis como a apththitalite, gesso e a calcite (Figuras 6.9b, 6.10e e 6.10f).

As imagens e espectros dos minerais de sais solúveis identificados na eflorescência HSA 200 são apresentados nas Figuras 6.11 e 6.12.

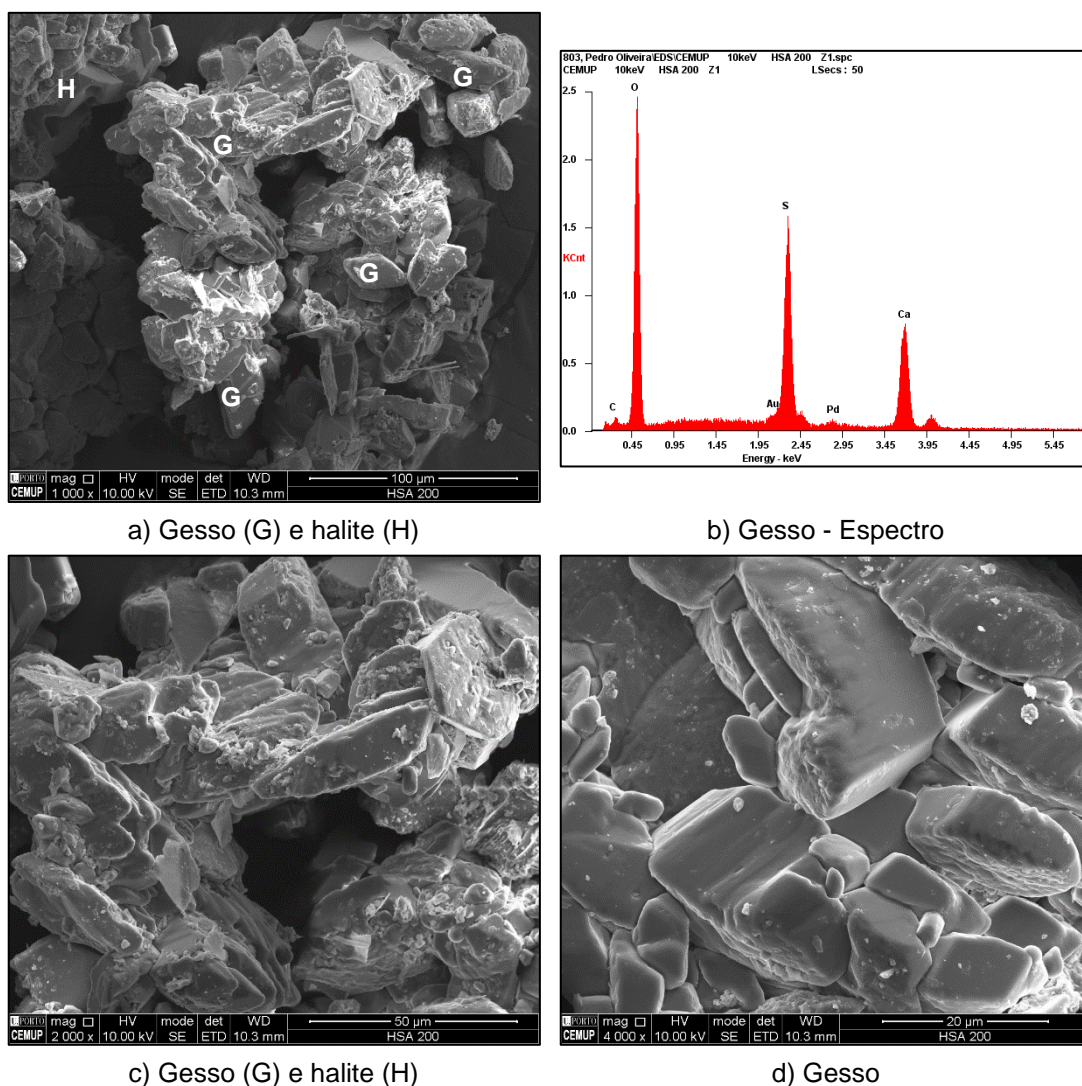
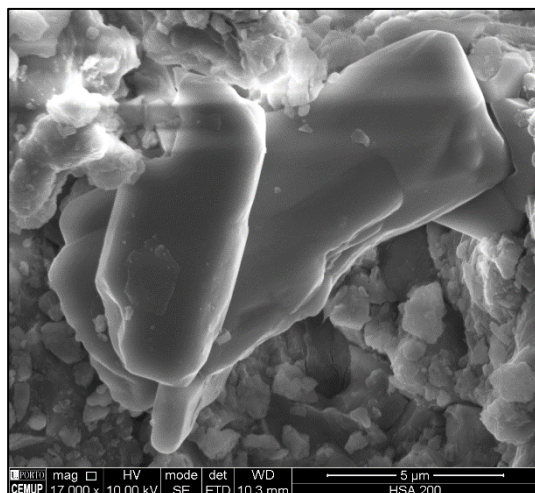
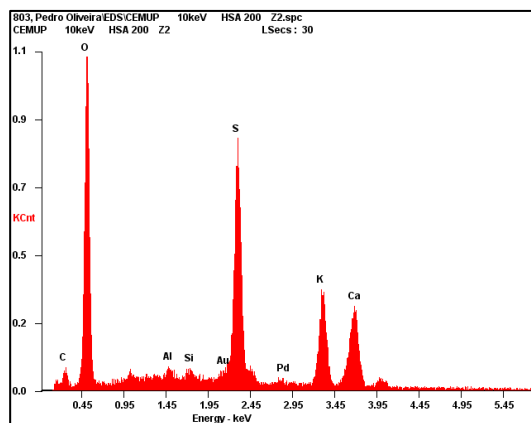


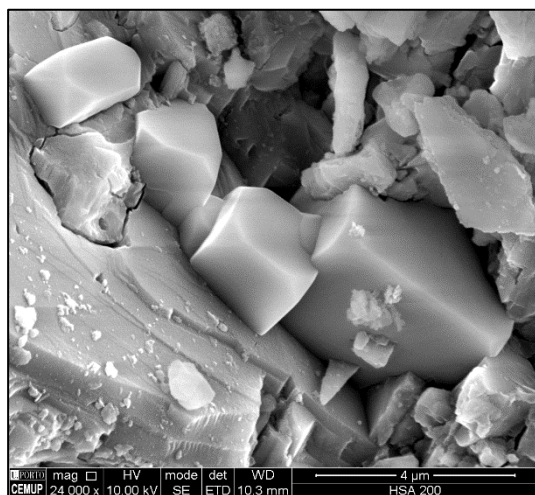
Figura 6.11 – HSA 200 – Imagens de gesso e halite e espectro do gesso obtidos por MEV



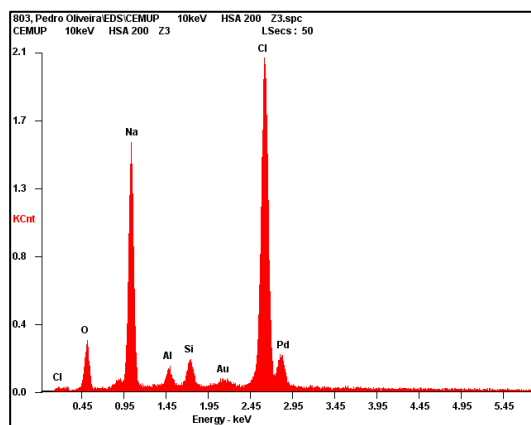
a) Singenite sobre plagioclase sódica



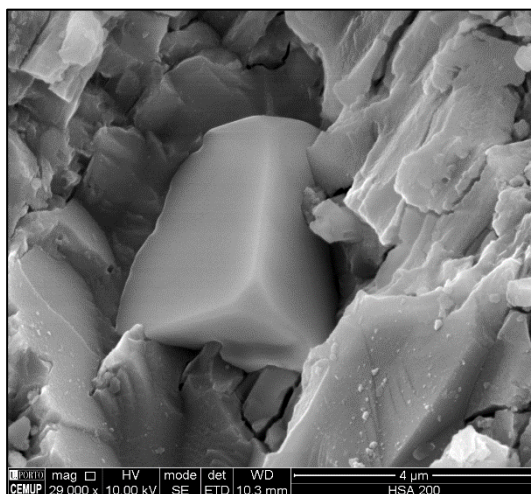
b) Singenite - Espectro



c) Halite sobre plagioclase sódica



d) Halite - Espectro



e) Halite sobre plagioclase sódica

Figura 6.12 – HSA 200 – Imagens e espectros de singenite e halite obtidos por MEV

Na eflorescência HSA 200, o gesso exibe-se sob a forma de cristais subédricos em forma de ponta de lança (Figuras 6.11a e 6.11c), subédricos tabulares (Figuras 6.11a, 6.11c e 6.11d), subédricos isométricos (Figuras 6.11a, 6.11c e 6.11d), subédricos isométricos com figuras de dissolução (Figura 6.11d) e cristais tabulares pseudo-hexagonais (Figura 6.11c).

A singenite aparece como cristais subédricos tabulares com figuras de dissolução (Figura 6.12a).

A halite apresenta-se sob a forma de cristais euédricos ou subédricos com as formas simples cubo + octaedro (Figuras 6.12c e 6.12e).

Como referido nas eflorescências HSA 202 e HSA 205, também na eflorescência HSA 200, minerais muito solúveis como a halite cristalizam com minerais de sais menos solúveis como o gesso e a singenite.

As três eflorescências estudadas mineralogicamente (HSA 202, HSA 205 e HSA 200) foram recolhidas na mesma zona de onde Begonha (1997, 2001) havia obtido as eflorescências pulverulentas do exterior do Hospital de Santo António.

No presente estudo, identificaram-se quatro dos minerais de sais solúveis referidos por Begonha (1997, 2001), designadamente singenite, gesso, thenardite e halite e ainda quatro minerais de sais solúveis não referenciados no estudo anterior (aphthitalite, nitratite, niter e calcite). A glauberite, mencionada no estudo anterior, não foi observada nas três eflorescências estudadas.

Nos dois estudos, os sulfatos são os minerais de sais solúveis dominantes. A singenite, o gesso e a thenardite aparecem nas eflorescências dos dois trabalhos e a aphthitalite apenas na presente dissertação.

De realçar ainda que o niter e a nitratite, não mencionados por Begonha (1997, 2001) aparecem nas eflorescências HSA 202 e HSA 205.

6.3. ESTUDO MINERALÓGICO DE EFLORESCÊNCIAS RECOLHIDAS EM PROVETES CONSTITUÍDOS POR DUAS PATELAS E JUNTA DE ARGAMASSA ANTERIORMENTE SUJEITOS SUJEITAS A CICLOS DE SECAGEM-MOLHAGEM

Recolheram-se quatro amostras de eflorescências quer em zonas internas de contacto entre a argamassa e uma patela de pedra, quer em zonas externas na superfície da junta.

As eflorescências formadas sobre os provetes SPO 1.3-2.1 (calcário recolhido nas imediações do Santuário do Senhor Jesus da Pedra, em Óbidos, Leiria), MSM 7.3 (Mosteiro de São Miguel de Refojos), HMV 58.1 (Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Viana do Castelo) e H150 (Hospital de Santo António) foram recolhidas ou na zona de contacto interior entre a argamassa e uma das patelas ou na superfície exterior da argamassa, tendo sido observadas e analisadas por MEV, onde se identificaram os seguintes tipos de minerais de sais solúveis: sulfatos (gesso e etringite) e carbonatos (calcite).

As composições mineralógicas e imagens das eflorescências são apresentadas no Quadro 6.3 e nas Figuras 6.13 a 6.16, respetivamente.

Nas eflorescências do provete H 150, o gesso exibe-se sob a forma de cristais subédricos em forma de ponta de lança (Figuras 6.13a, 6.13c e 6.13d), subédricos tabulares (Figuras 6.13a, 6.13d, 6.13f) e agregados de cristais aciculares euédricos (Figuras 6.13e e 6.13f).

Nas eflorescências do provete HMV 58.1, o único mineral de sal solúvel identificado foi a calcite. Esta surge sob a forma de agregados de cristais subédricos romboédricos com figuras de dissolução (Figuras 6.14a e 6.14b) e agregados de cristais aciculares subédricos (Figura 6.14c).

Na eflorescência do provete MSM 7.3 só se identificou a calcite.

Quadro 6.3 - Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas eflorescências

| Provete | Tipo de Junta | Local de recolha | Minerais de sais solúveis |
|---------------|------------------------------------|--|---------------------------|
| H 150 | Argamassa de cimento - CMA | Superfície exterior da junta e zona interior de contato entre argamassa e patela | Gesso, etringite |
| HMV 58.1 | Argamassa de cimento - CMA | Superfície exterior da junta e zona interior de contato entre argamassa e patela | Calcite |
| MSM 7.3 | Argamassa de cimento - CMA | Zona interior de contato entre argamassa e patela | Calcite |
| SPO 1.3 – 2.1 | Argamassa de cal hidráulica - HLMA | Zona interior de contato entre argamassa e patela | Calcite, gesso |

Na eflorescência do provete SPO 1.3-2.1, formada sobre patela de calcário, observaram-se a calcite e o gesso. A calcite surge sob a forma de cristais subédricos isométricos (Figura 6.15), cristais anédricos isométricos (Figuras 6.15a, 6.15c, 6.15e e 6.15f) e cristais romboédricos subédricos (Figuras 6.15e e 6.15f) e o gesso sob a forma de cristais em forma de ponta de lança (Figura 6.16) e cristais lamelares subédricos (Figura 6.16a).

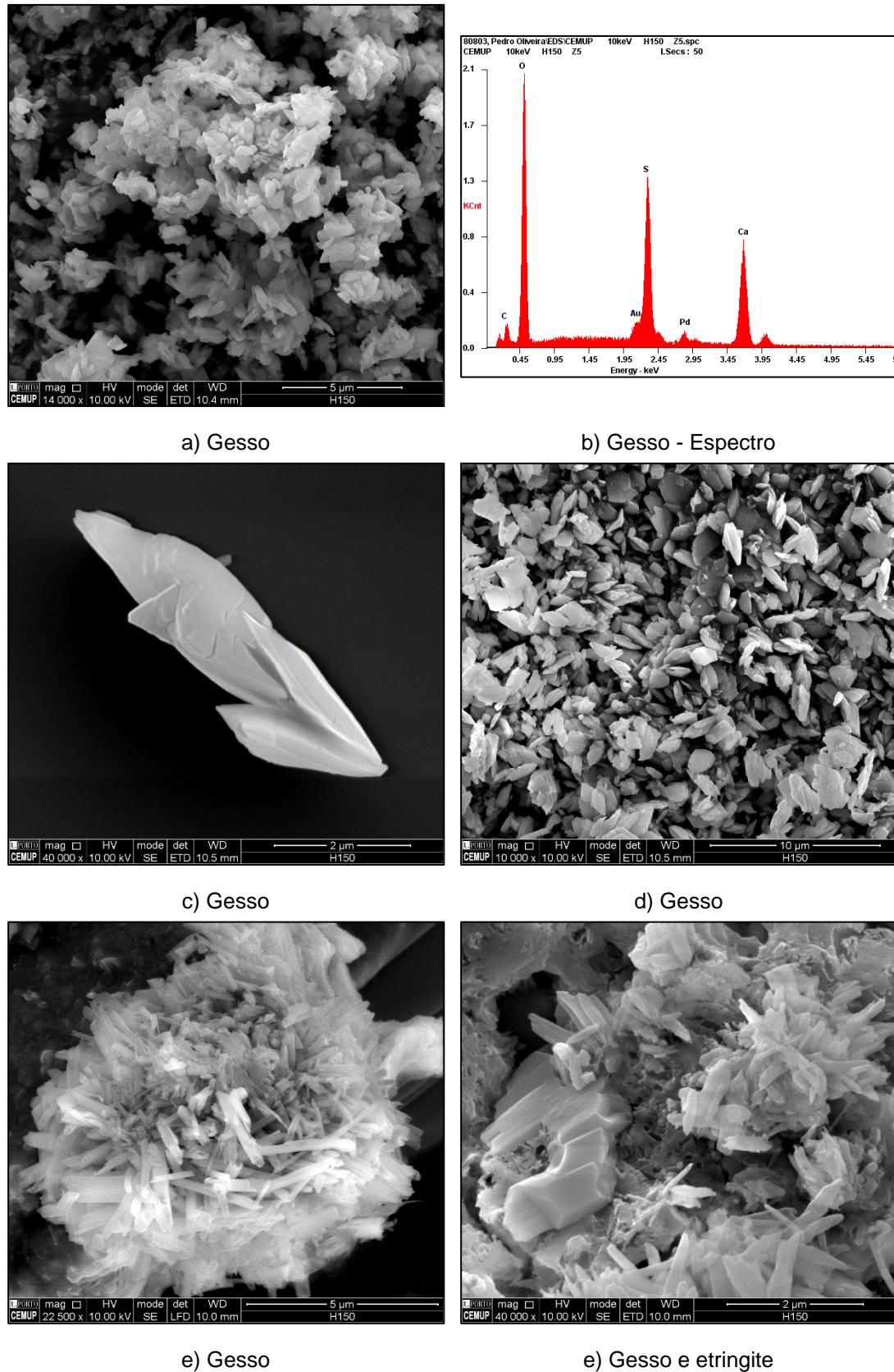
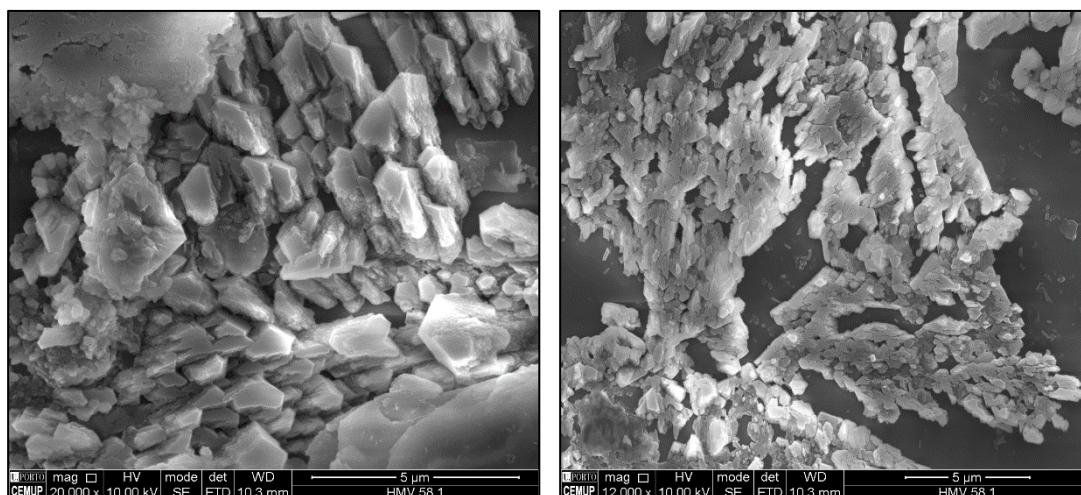
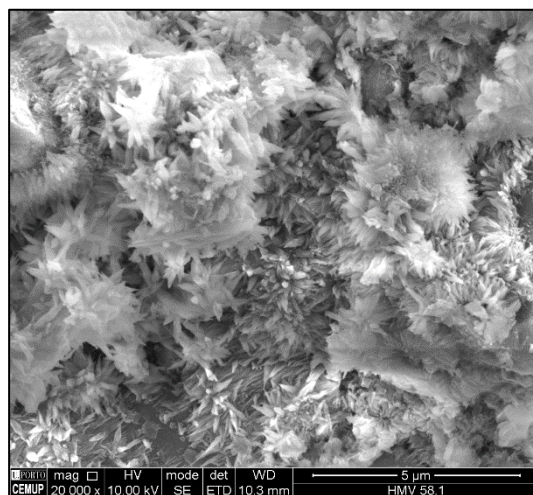


Figura 6.13 – Eflorescências do provete H 150 – Imagens de gesso e etringite e espectro do gesso obtidos por MEV



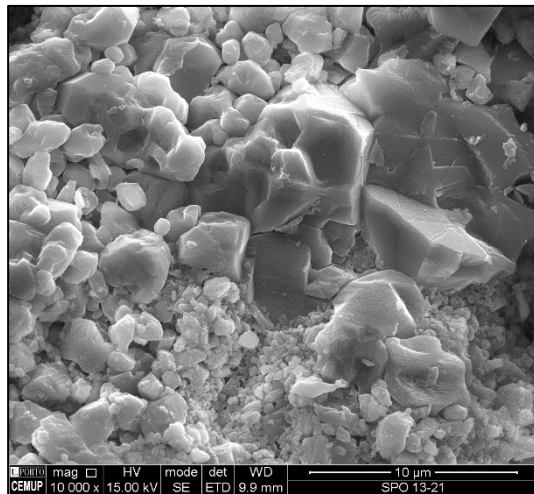
a) Calcite sobre caulinite

b) Calcite sobre caulinite

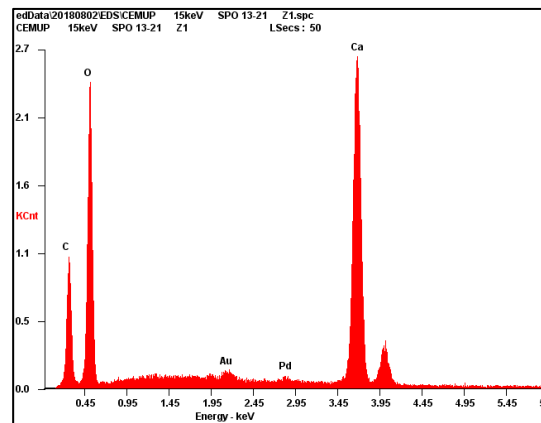


c) Calcite sobre dolomite

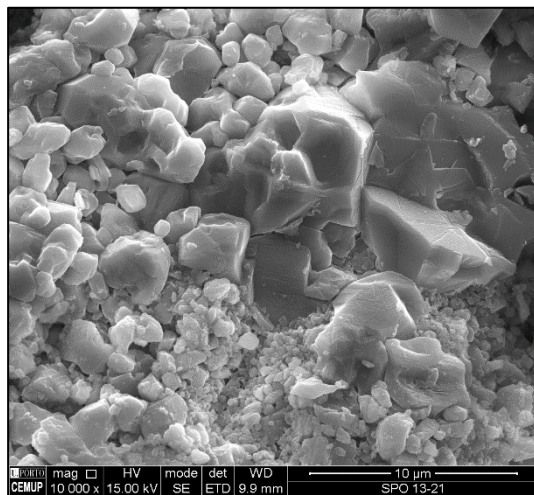
Figura 6.14 – Eflorescências do provete HMV 58.1 – Imagens de calcite obtidas por MEV



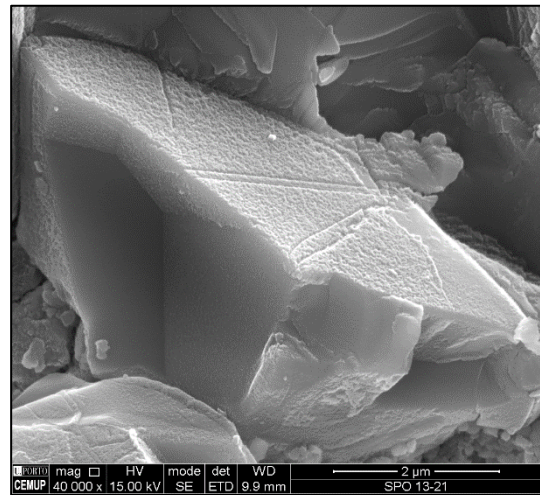
a) Calcite



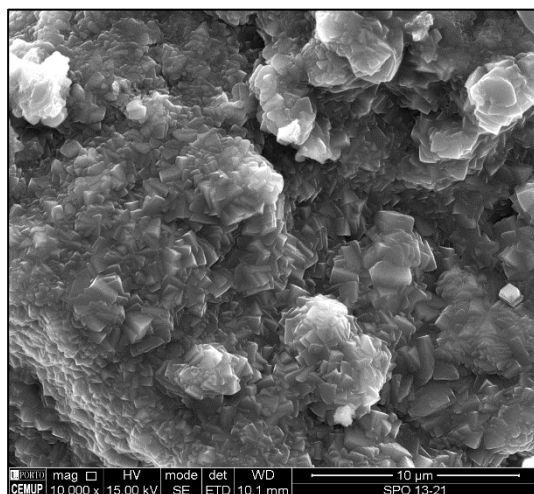
b) Calcite - Espectro



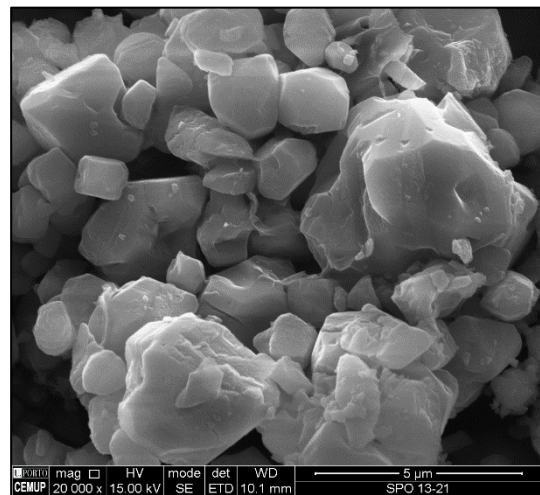
c) Calcite



d) Calcite



e) Calcite



f) Calcite

Figura 6.15 – SPO 1.3-2.1 – Imagens e espectros calcite obtidos por MEV

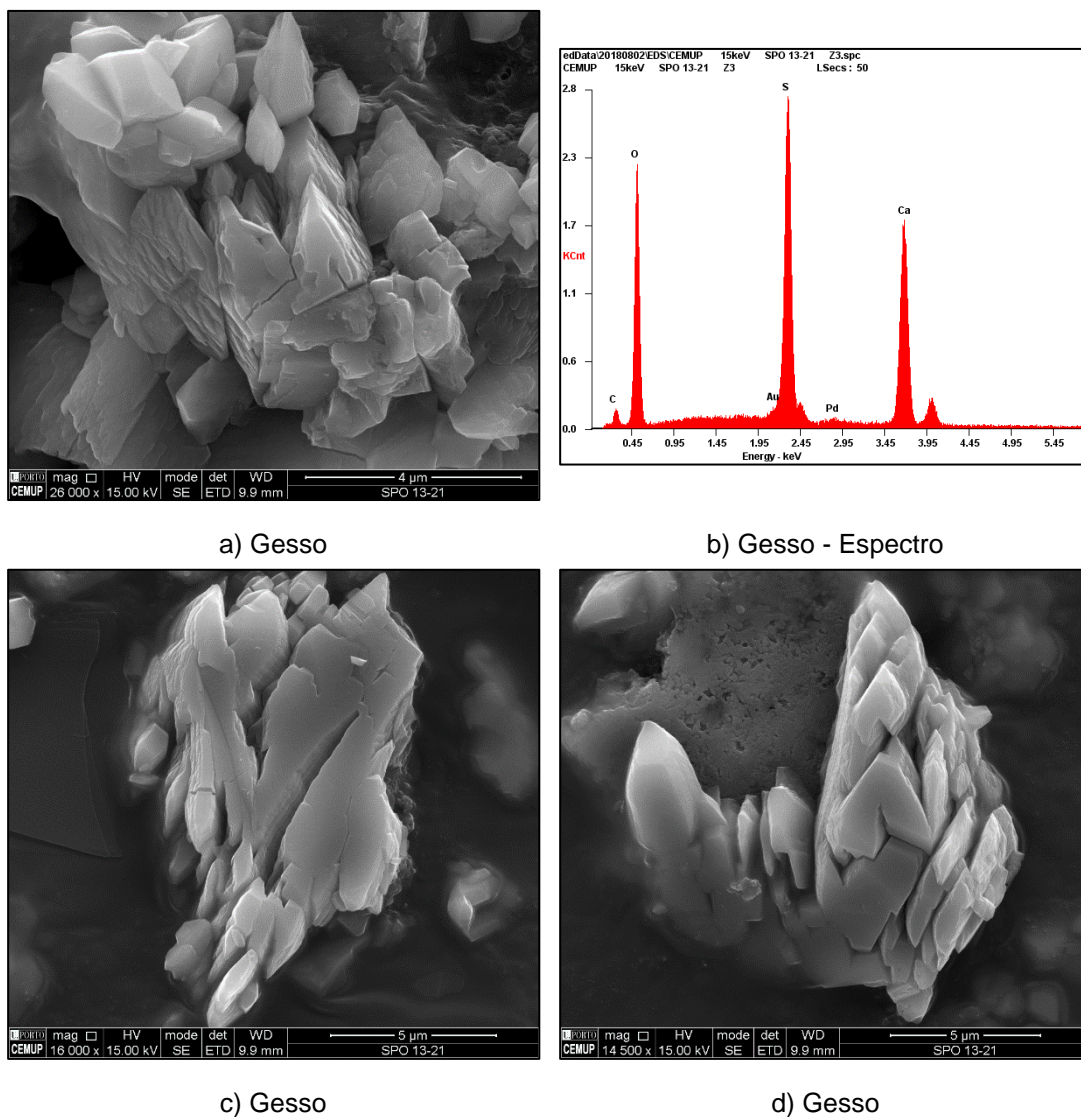


Figura 6.16 – SPO 1.3-2.1 – Imagens e espectros de gesso obtidos por MEV

7

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1. CONCLUSÕES FINAIS

No que concerne à resistência à compressão, os resultados efetuados possibilitaram as seguintes ilações:

- As resistências à compressão das argamassas de cimento são muito superiores às das argamassas fabricas com cal hidráulica e muitíssimo maiores do que as das argamassas prontas D. Fradique e das de cal aérea em pasta;
- A utilização de água destilada ou de água potável não interferiu nas resistências à compressão aos 7 dias e 28 dias nas argamassas de cimento com areia normalizada e aos 28 dias nas argamassas de cal hidráulica com areia normalizada;
- A mudança de traço em peso para igual valor numérico de traço em volume reduziu as resistências à compressão quer nas argamassas de cimento com areia normalizada quer nas argamassas de cal hidráulica com areia normalizada;
- Adotado um traço em peso (1:3 ou 1:2,5), a mudança de cura em câmara húmida para cura ao ar livre reduziu significativamente a resistência à compressão nas argamassas de cimento e a um aumento nas de cal hidráulica;
- A utilização de areias com granulometrias mais extensas (areia normalizada e meia areia), mantendo os traços em volume, traduziu-se num aumento de resistência à compressão relativamente às argamassas em que se utilizaram areias de granulometria pouco extensa, nas argamassas de cimento com cura em câmara húmida ou ao livre. Isto não se verificou nas argamassas fabricadas com cal hidráulica.

No que alude à porosidade livre às 48 horas, os resultados efetuados possibilitaram as seguintes conclusões:

- Todas as argamassas estudadas apresentaram porosidade livre às 48 horas superior à dos granitos e do calcário;
- As argamassas de cimento foram as que apresentaram menor porosidade livre de entre as argamassas ensaiadas (argamassas de cimento, argamassas de cal hidráulica, argamassas prontas D. Fradique e argamassas de cal aérea em pasta) para amassaduras com traços iguais;
- Tanto as argamassas prontas D. Fradique como a argamassa de cal aérea em pasta apresentam valores semelhantes e altos para a porosidade livre, provavelmente em resultado de o ligante ser idêntico.

No que se refere aos ensaios de evaporação e de ciclos de molhagem e secagem, bem como a análise das eflorescências por MEV, os resultados efetuados possibilitaram as seguintes afirmações:

- Os fluxos de evaporação e o intervalo de tempo até ocorrer a saturação crítica são maiores nas argamassas de cal hidráulica do que nas argamassas de cimento, pelo que as saturações críticas são inferiores;
- Os tempos de secagem das argamassas de cal hidráulica são inferiores comparativamente aos das argamassas de cimento;
- Os fluxos de evaporação e o intervalo de tempo até ocorrer a saturação crítica são maiores nas argamassas prontas D. Fradique relativamente aos das argamassas de cal hidráulica e aos das argamassas de cimento, pelo que as saturações críticas são muito inferiores;
- Os tempos de secagem das argamassas prontas D. Fradique são inferiores aos das argamassas de cal hidráulica e aos das argamassas de cimento;
- O fluxo de evaporação na argamassa de cal aérea em pasta é inferior quando comparado com os fluxos de evaporação das argamassas prontas D. Fradique, argamassas de cal hidráulica e argamassas de cimento, verificando-se o oposto no que concerne o intervalo de tempo até ocorrer a saturação crítica. Consequentemente a saturação crítica é mais elevada nas argamassas de cal aérea em pasta;
- O tempo de secagem da argamassa de cal aérea em pasta é superior ao das restantes argamassas ensaiadas;
- Nos granitos, os fluxos de evaporação são altos e semelhantes, apesar de terem sido ensaiados vários tipos de granitos e de alguns tipos terem porosidades muito distintas;
- O tempo que decorre até se atingir a saturação crítica ($t(Sc)$) é relativamente baixo verificando-se uma tendência de $t(Sc)$ com um aumento da porosidade livre, dentro de cada tipo de granito;
- A saturação crítica é relativamente alta em todos os provetes e independentemente do tipo de granito, sendo a média dos 24 provetes ensaiados igual a $Sc = 52 \pm 12 \%$;
- Os tempos de secagem são relativamente baixos e tendencialmente maiores dentro de cada tipo de granito quando a porosidade livre aumenta;
- Os fluxos de evaporação dos diversos tipos de granito são altos e idênticos aos obtidos nas argamassas de cal hidráulica e argamassas prontas D. Fradique e superiores aos das argamassas de cimento e argamassas de cal aérea em pasta, o que, tendo em atenção que a porosidade livre dos granitos é muito inferior à de qualquer das argamassas ensaiadas, comprova que a rede porosa destas rochas é muito bem interligada, permitindo uma secagem rápida e eficaz com tempos de secagem inferiores a qualquer uma das argamassas;
- O tempo de secagem médio dos 24 provetes de granito é 3,0 vezes menor que o tempo de secagem médio dos 12 provetes de argamassas de cimento e 2,6 vezes menor que o tempo de secagem médio dos 12 provetes de argamassas de cal hidráulica;
- O facto de a saturação crítica média dos diversos granitos ser próxima dos 50% ($Sc = 52 \pm 12 \%$) e de o tempo de secagem médio ser muito inferior ao das argamassas de cimento e de cal hidráulica explica o aumento de deterioração do granito quando em contacto sobretudo com as argamassas de cimento usualmente ricas nos iões alcalinos Na^+ e K^+ que, por capilaridade, são transferidos das argamassas para a pedra, formando sulfatos alcalinos nas zonas com poluição atmosférica e carbonatos alcalinos quando a poluição atmosférica não é significativa;
- O estudo mineralógico das eflorescências recolhidas no Hospital de Santo António em pedras de granito do Porto junto a argamassas de cimento corrobora o ponto anterior, dado que se verificou a dominância de sulfatos na composição das mesmas, nomeadamente singenite, gesso, apthitalite e thenardite e ainda dos minerais de sais solúveis halite, niter, nitratite e calcite;

- O ensaio de molhagem e secagem conduziu à formação de gesso, calcite e etringite, não se tendo identificado sulfatos alcalinos. Tal facto poderá justificado pelo número insuficiente de ciclos realizados, apesar de o ensaio ter decorrido durante 9 semanas;
- No calcário, o fluxo de evaporação é alto e idêntico ao dos granitos, o tempo em que ocorre a saturação crítica é muito superior ao dos mesmos, a saturação crítica muito baixa e o tempo de secagem idêntico ao dos granitos;

Em síntese, conclui-se que as argamassas possuem tempos de secagem superiores aos do granito e calcário, promovendo a transferência de água por capilaridade das mesmas para o material pétreo. Das argamassas ensaiadas, verifica-se que as de cal aérea em pasta e as de cimento possuem um maior tempo de secagem.

Esta característica associada à composição das argamassas de cimento, usualmente ricas em iões alcalinos Na^+ e K (que originam os sulfatos e carbonatos alcalinos), torna estas argamassas mais prejudiciais do que as executadas à base de cal.

Nos calcários, dada a saturação crítica inferior e tempo de secagem semelhante comparativamente com os granitos, o risco de ocorrer deterioração no interior da rede porosa resultante da ação de minerais de sais solúveis provenientes da utilização das argamassas de cimento e de cal hidráulica é inferior.

Em suma, a utilização de argamassas à base de cal aérea ou cal hidráulica diminui o risco de deterioração da pedra comparativamente à utilização de argamassas de cimento em juntas de alvenarias e cantarias de pedra ou em rebocos nas mesmas.

7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Apontam-se de seguida algumas ideias para a continuação do trabalho desenvolvido nesta dissertação:

- Alargar os ensaios a argamassas com outros ligantes, areias e traços;
- Realização de ensaios de absorção de água por capilaridade;
- Estudo do meio poroso das argamassas, granitos e calcários através do porosímetro;
- Realização de ensaios de evaporação em outros tipos de rochas, designadamente calcários, arenitos e mármore;
- Realização de ensaios de molhagem e secagem com maior número de ciclos;
- Verificação e estudo de eventual fissuração das argamassas nas juntas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aires-Barros, L. (1991). *Alteração e alterabilidade de rochas*. Instituto Nacional de Investigação Científica. Lisboa. 384 pp.
- Almeida A. (2001). *Geochemical and geochronological characterization of the syntectonic two-mica granite of Porto (NW Portugal)*. In: Lago M., Arranz E. & Galé C. (Eds.), *Proceedings IIIer Congreso Ibérico de Geoquímica y VIIIo Congreso de Geoquímica de España*. Zaragoza. 311-315 pp.
- Alves, C. (1997). *Estudo da deterioração de materiais graníticos aplicados em monumentos da cidade de Braga (Norte de Portugal). Implicações na conservação do Património Construído*. Tese de Doutoramento. Escola de Ciências. Universidade do Minho. Braga. 291 pp.
- Alves, C., Sequeira Braga, M. A. (1993). *Sais solúveis presentes em monumentos graníticos de Braga* in *Proceedings IX Semana de Geoquímica e II Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa-Porto 1993*. Eds. F. Noronha, M. Marques e P. Nogueira. Porto. pp. 525-529.
- Alves, C., Sequeira Braga, M. A. (1994). *Acção deteriorante da cristalização de sais em monumentos graníticos (um exemplo em Braga, Portugal)* in *Proceedings Scientific Meeting - Granitic Materials and Historical Monuments-Braga 1994*. Braga. 4 pp.
- Alves, C., Sequeira Braga, M. A. (1995). *Transferências de soluções e deterioração de materiais graníticos aplicados em monumentos de Braga (Portugal)* in *Proceedings 1º Congresso Internacional da Pedra Natural-Lisboa 1995*. pp. 281-292.
- Alves, C., Sequeira Braga, M. A. (1996). *Salt systems on granitic monuments (Braga - NW Portugal)* in *Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994*. Eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo. *Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N° 5*. pp. 109-114.
- Alves, C., Jeannette, D., Sequeira Braga, M. A. (1993). *Origin of porosity in the Braga granite and implications in Braga (NW Portugal) monuments degradation*. *Terra abstracts*, N°. 1, vol. 5, EUG VII. Strasbourg. p. 621.
- Alves, C., Sequeira Braga, M. A., Hammecker, C. (1996). *Water transfer and decay of granitic stones in monuments*. *C.R. Académie Sciences de Paris*, T. 323, Série Ila. Paris. pp. 397-402.
- Amoroso, G.G., Fassina, V. (1983). *Stone decay and Conservation*. Elsevier, *Materials Science Monographs*. 11. 453 pp.
- Arnold, A. (1976). *Behaviour of some soluble salts in stone deterioration* in *Proceedings 2nd International Symposium on the Deterioration of Building Stones-Athens 1976*. pp. 27-36.
- Arnold, A. (1978). *Documentation sur l'altération et la conservation des monuments en pierre* in *Proceedings Colloque International UNESCO/RILEM Altération et protection des Monuments en pierre-Paris 1978*, sect. 1.2. pp. 1-31.
- Arnold, A. (1984). *Determination of mineral salts from monuments, Studies in Conservation*. vol. 29. pp. 129-138.
- Arnold, A., Kueng, A. (1985). *Crystallization and habits of salt efflorescences on walls – methods of investigation and habits*. *Proceedings 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Lausanne-1985*. pp. 255-267.

- Arnold, A., Zehnder, K. (1985). *Crystallization and habits of salt efflorescences on walls II – conditions of crystallization*. Proceedings 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Lausanne 1985. pp. 269-277.
- Arnold, A., Zehnder, K. (1987). *Monitoring wall paintings affected by soluble salts*. Proceedings Symposium the Conservation of Wall Paintings-London 1987. Eds. Sharon Cather. Courtauld Institute of Art. Getty Conservation Institute. London. pp. 103–135.
- Arnold, A., Zehnder, K. (1988). *Decay of stony materials by salts on humid atmosphere*. Proceedings 6th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Torun 1988. pp. 138–148.
- Arnold, A., Zehnder, K. (1989). *Salt weathering on monuments*. Proceedings 1st Symposium La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo-Bari 1989. Ed. Fulvio Zezza. Grafo, Brescia. pp. 31–58.
- Ausset, P., Lefèvre, R. A., Del Monte, M. (2000a). *Early mechanisms of development of sulphated black crusts on carbonate stone*. Proceedings of the 9th International Congress on deterioration and conservation of stone, Venice 2000, Ed. Vasco Fassina, Vol 1, pp 329-339.
- Ausset, P., Lefèvre, R. A., Del Monte, M., Thiébault, S. (2000b). *Past air pollution recordings on stone monuments: The heads of the Kings of Juda statues from Notre-Dame cathedral (Paris)*. Proceedings of the 9th International Congress on deterioration and conservation of stone, Venice 2000, Ed. Vasco Fassina, Vol 1, pp 339-349.
- Baccaro, L. P. M., Balzi, S., Del Chiaro, L., Vannucci, S. (2000). *The effects of the strong use of cements in restoration: the casa of Barga Duomo (Northern Tuscany)*. Proceedings of the 9th International Congress on deterioration and conservation of stone, Venice 2000, Ed. Vasco Fassina, Vol 2, pp 3-13.
- Beaucourt, F. (1975). *Les types d' altérations des roches calcaires: caractères chimiques et pétrographiques* in Les Monuments Historiques de la France - La Maladie de la Pierre, numéro hors série. pp. 21-26.
- Beaucourt, F., Jaton, C. (1975). *Morphologie des altérations des calcaires* in Les Monuments Historiques de la France - La Maladie de la Pierre, numéro hors série. pp. 16-21.
- Begonha, A. (1997). *Meteorização do granito e deterioração da pedra em monumentos e edifícios da cidade do Porto*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho. Braga. 393 pp.
- Begonha, A. (2000). *Estudo da patologia da pedra do Mosteiro de São Miguel de Refojos em Cabeceiras de Basto*. Porto. 73 pp.
- Begonha, A. (2001). *Meteorização do granito e deterioração da pedra em monumentos e edifícios da cidade do Porto*. FEUP-Edições, Coleção Monografias 2. 445 pp.
- Begonha, A. (2002a). *Igreja de São João de Tarouca: Estudo da Deterioração da Pedra*. Porto. 68 pp.
- Begonha, A. (2002b). *Estudo da Deterioração da Pedra: Casa do Sr. Dr. João Morais Cabral em Vila Praia de Âncora*. Porto, 29 pp.
- Begonha, A. (2002c). *Estudo da patologia da pedra da Igreja de São Pedro de Rates*. Relatório no âmbito do Protocolo DGEMN-FEUP – Estudo dos Materiais Pétreos e Argamassas. FEUP, Porto. 85 pp.
- Begonha, A. (2002d). *Igreja de São Pedro de Rates: Estudo da deterioração da pedra*. A Intervenção no Património: Práticas de Conservação e Reabilitação. Faculdade de Engenharia da Universidade do

- Porto e Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais. Eds. A. Costa, J. Miranda Guedes, P. Silva, E. Paupério. Porto. pp. 309–332.
- Begonha, A. (2003a). *Igreja de Nossa Senhora da Ajuda, Matriz de Espinho: Estudo da Deterioração e do Tratamento da Pedra*. Porto. 52 pp.
- Begonha, A. (2003b). *Estudo da aplicação de consolidantes em pedras da Igreja de São Pedro de Rates*. Relatório no âmbito do Protocolo DGEMN-FEUP – Estudo dos Materiais Pétreos e Argamassas. FEUP, Porto. 66 pp.
- Begonha, A. (2003c). *Igreja de São João Baptista, Matriz de Vila do Conde: Estudo da Deterioração e do Tratamento da Pedra*. Relatório no âmbito do Protocolo DGEMN-FEUP – Estudo dos Materiais Pétreos e Argamassas. FEUP, Porto. 74 pp.
- Begonha, A. (2003d). *Chafariz de Caminha: Estudo da deterioração e do tratamento da pedra*. Porto. 30 pp.
- Begonha A. (2004a). *Igreja de Nossa Senhora da Assunção, Matriz de Caminha: Estudo da deterioração da pedra – Diagnóstico e tratamentos*. Porto. 80 pp.
- Begonha, A. (2004b). *Convento de São Gonçalo de Amarante: Estudo diagnóstico e proposta de tratamento da pedra*. Relatório no âmbito do Protocolo DGEMN-FEUP – Estudo dos Materiais Pétreos e Argamassas. FEUP, Porto. 135 pp.
- Begonha, A. (2005). *Patologia da pedra na fachada principal da Igreja de Nossa Senhora da Lapa: Diagnóstico e proposta de tratamento*. Porto. 87 pp.
- Begonha, A. (2006). *Patologia da pedra do Palácio da Bolsa no Porto: Diagnóstico e proposta de tratamento*. Porto. 50 pp.
- Begonha, A. (2008a). *Granite deterioration in two Portuguese churches and characterization of the salt solutions in the porous network by the presence of diatoms in Proceedings 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Toruń, Vol I. pp. 23-30.
- Begonha, A. (2008b). *Acção de argamassas de cimento sobre pedras de granito do Porto*. IX Congresso de geoquímica dos PLP, Cabo Verde. pp 57
- Begonha, A. (2009a). *Mineralogical study of the deterioration of granite stones of two Portuguese churches and characterization of the salt solutions in the porous network by the presence of diatoms*. Materials Characterization. Vol. 60. Nº 7. pp. 621–635.
- Begonha, A. (2009b). *Deterioração do granito na Igreja de Nossa Senhora da Lapa no Porto*. Proceedings 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios PATORREB 2009. Porto. 2009. Vol II. pp. 807-812.
- Begonha, A. (2009c). *Hospital de Santo António: Estudo mineralógico da deterioração do granito nos Elementos Decorativos da Cobertura*. Porto. 44 pp.
- Begonha, A. (2010). *Deterioração do granito e reabilitação da Igreja de Nossa Senhora da Lapa no Porto*. CD ROM do III Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios. Rio de Janeiro 2010. Artigo 550. 10 pp.
- Begonha, A. (2011a). *Patologia da pedra. Casos de obra*. 1^{as} Jornadas de Materiais na Construção realizadas pela Secção de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em 6 de Abril de 2011 e publicada no Livro de Actas das 1as

- Jornadas de Materiais na Construção, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Eds. Álvaro Cunha, Afonso Serra Neves, Ana Maria Sarmiento, Ana Maria Proença. Porto, 2011. pp. 83-113.
- Begonha, A. (2011b). *Igreja de São João Baptista, Matriz de Vila do Conde: mapeamento das alterações do granito do portal principal e do varandim da torre*. Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção LEMC, FEUP, Relatório N° 11/002, Porto. 43 pp.
- Begonha, A. (2012). *Comportamento da pedra como material de paramento* in Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos. Ed. Ordem dos Engenheiros da Região Norte. Coordenação de V.P. Freitas. pp. 170-192.
- Begonha, A. (2018). *Patologia da Pedra – Apontamentos da disciplina de Patologia dos Materiais*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Begonha, A., Costa Leite, A. L., Madureira, M. C. V., Bré, J. M. (2011). *Mineralogical study by SEM and XRD of efflorescence in four granitic monuments in the Oporto Metropolitan area*. Proceedings with full papers CD ROM do 13th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, Ljubljana 2011. Eds. Alenka Mauko, Tadeja Kosec, Tinkara Kopar, Nina Gartner. Artigo 550. 15 pp.
- Begonha, A., Fojo, A. (2006). *Igreja de Nossa Senhora da Assunção, Matriz de Caminha: Estudo da Aplicação de Consolidantes nas Pedras de Microgranito dos Portais Oeste e Sul e de Hidrófugos na Fachada Norte*”. Porto. 90 pp.
- Begonha, A., Fojo, A. (2008). *Application and efficiency of water repellents and consolidating products in two two-mica granites used in the Matriz de Caminha Church*. Proceedings 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Toruń 2008. Vol II. pp. 785-793.
- Begonha A., Jeannette, D., Hammecker, C., Sequeira Braga, M.A. (1994). *Physical characteristics of the Oporto granite related to stone decay in monuments*. In: Fassina V., Ott H. & Zezza F. (Eds.), Proceedings 3° Simposio Internazionale La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo, Venezia. pp. 541–546.
- Begonha, A., Moutinho, A. (2008). *Petrophysics of the Porto Granite applied in Santa Maria de Leça Church in Portugal* in Proceedings 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Toruń, Vol I. pp. 563-571.
- Begonha, A., Novais, H. (2011). *Estudo das deteriorações da pedra no Mosteiro de Travanca: Relatório Final*. Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção LEMC, FEUP. Relatório N° 11/003. Porto. 100 pp.
- Begonha, A., Pamplona, J., Sequeira Braga, M. A. (2010). *Efeitos da Meteorização dos Granitos nas Propriedades Geotécnicas e Físicas*, in Ciências Geológicas: Ensino Investigação e sua História, Publicação Comemorativa do Ano Internacional do Planeta Terra, Associação Portuguesa de Geólogos e Sociedade Geológica de Portugal. Eds. J. M. Cotelo Neiva, A. Ribeiro, L. Mendes Víctor, F. Noronha, M. Magalhães Ramalho. Volume II Geologia Aplicada, Capítulo III Geologia de Engenharia (Coordenação de J. M. Cotelo Neiva e R. Oliveira). pp. 271-281.
- Begonha, A., Pinho, L. S. (2010a). *Convento de São Gonçalo de Amarante: Catálogo das Deteriorações no Portal Retabular Sul, Varanda dos Reis e Imagem de Nossa Senhora da Ponte*. Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção LEMC, FEUP, Porto. 63 pp.
- Begonha, A., Pinho, L. S. (2010b). *Convento de São Gonçalo de Amarante: Cartografia das Deteriorações no Portal Retabular Sul, Varanda dos Reis e Imagem de Nossa Senhora da Ponte*. Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção LEMC, FEUP, Porto. 28 pp.

- Begonha, A., Sequeira Braga, M. A. (1993). *Stone weathering and deterioration in a granitic monument*. Proceedings ISRM International Symposium on Safety and Environmental Issues in Rock Engineering EUROCK'93 – Lisboa 1993. Eds. Ribeiro e Sousa L. & Grossmann N. F. Balkema. Rotterdam. pp. 267–274.
- Begonha, A., Sequeira Braga, M. A. (1994). *Stone decay in the Hospital de Santo António: the role of granite weathering and the impact of air pollution* in Proceedings Scientific Meeting - Granitic Materials and Historical Monuments-Braga 1994. Braga. 4 pp.
- Begonha, A., Sequeira Braga, M. A. (1995). *A meteorização do granito do Porto* in Proceedings IV Congresso Nacional de Geologia-Porto 1995. Coord. F. Sodr  Borges e M.M. Marques. Universidade do Porto - Faculdade de Ciências - Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, Memórias, N . 4. pp. 171-175.
- Begonha, A., Sequeira Braga, M. A. (1996a). *Characterization of black crusts and thin black layers in granitic monuments: the role of air pollution* in Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994. Eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N . 5. pp.121-126.
- Begonha, A., Sequeira Braga, M. A. (1996b). *Black crusts and thin black layers in granitic monuments: their characterization and the role of air pollution* in Proceedings 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Berlin 1996. Ed. Josef Riederer, vol. 1. Berlin. pp. 371-375.
- Begonha, A., Sequeira Braga, M. A. (2000). *Study of stone deterioration in the cloister of the Mosteiro de Grijó, Portugal*. Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone–Venezia 2000. Ed. Fassina V. Volume 2. pp. 689–696.
- Begonha, A., Sequeira Braga, M. A., Gomes Da Silva, F. (1995). *A acção da água da chuva na meteorização de monumentos graníticos* in Proceedings IV Congresso Nacional de Geologia-Porto 1995. Coord. F. Sodré Borges e M.M. Marques. Universidade do Porto - Faculdade de Ciências - Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, Memórias, N . 4. pp. 177-181.
- Begonha, A., Sequeira Braga, M. A., Gomes Da Silva, F. (1996). *Rain water as source of the soluble salts responsible for stone decay in the granitic monuments of Oporto and Braga – Portugal*. Proceedings 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone–Berlin 1996. Berlin. Ed. Josef Riederer. vol. 1. pp. 481–487.
- Begonha, A., Silva, A. (2012). *Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Viana do Castelo: diagnóstico e cartografia das deteriorações e proposta de intervenção no granite*. Relatório LEMC n  12/003, FEUP. Porto. 202 pp.
- Begonha, A., Teles M. (2000). *Study of stone deterioration in the Palácio do Freixo in Oporto*. Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Venezia. Ed. Vasco Fassina. Volume 2. pp. 593–601.
- Bernabe, E., Bromblet, P., Robert, M. (1995). *R le de la cristallisation du natron dans la d sagr gation sableuse d' un monument granitique en Bretagne*. C.R. Académie Sciences de Paris, T. 320, Série II a. Paris. pp. 571-578.
- Bernabe, E., Bromblet, P., Verges-Belmin, V. (1996). *Presence of calcium monochloro-aluminate and ettringite in the original masonry core mortar of a granitic monument. Relation with the granular disintegration of the ashlar*s in Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994. Eds. M. A. Vicente, J.

- Delgado Rodrigues, J. Acevedo. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5. pp. 115-119.
- Birgine, J. M. (2000). *Sea water absorption, permeability evolution and deterioration assessment of building stones subjected to marine exposure*. Proceedings of the 9th International Congress on deterioration and conservation of stone, Venice 2000, Ed. Vasco Fassina, Vol 1, pp 313-323.
- Bré, J. M. (2008). *Capela do Senhor da Pedra: Diagnóstico e Proposta de Tratamento da Pedra*. Tese de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia. Instituto Politécnico do Porto. Porto. 144 pp.
- Bré, J. M., Begonha, A. (2011). *Salt weathering on the Chapel of Senhor da Pedra in Miramar, Portugal*. Proceedings of Salt Weathering on Buildings and Stone Sculptures SWBSS 2011, Limassol 2011. Eds. I. Ioannou, M. Theodoridou. pp. 153-160.
- Bromblet, P. (1989). *Les dégradations des pierres gréseuses des temples de Karnak (Egypte). Analyse pétrologique des mécanismes, et histoire de ces dégradations*. Tese de Doutoramento, Université de Paris VII. Paris. 201 pp.
- Camuffo, D. (1988). *Surface moisture and conservation*. European Cultural Heritage Newsletter, vol. 2, N°. 5. pp. 6-10.
- Camuffo, D., Bernardi, A., Zanetti, M. (1988). *Analysis of the real-time measurement of pH of rainfall at Padova, Italy: seasonal variation and meteorological aspects*. The Science of the Total Environment, 71. pp. 187-200.
- Cardoso, F. S. (2008). *Estudo da deterioração da pedra na Igreja de Paço de Sousa – Proposta de tratamento*. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. Porto. 108 pp.
- Casal Porto, M. (1989). *Estudio de la alteración del granito en los edificios de interés histórico de la provincia de La Coruña*. Tese de doutoramento, Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela. 273 pp.
- Casal Porto, M., Delgado Rodrigues, J., Silva Hermo, B. (1992). *Construction materials and decay problems of Salomé church in Santiago de Compostela* in Proceedings 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Lisboa 1992. Eds. J. Delgado Rodrigues, Fernando Henriques e F. Telmo Jeremias. LNEC, vol. 1. Lisboa. pp. 3-10.
- Casal Porto, M., Silva Hermo, B. M., Delgado Rodrigues, J. (1991). *Agents and forms of weathering in granitic rocks used in monuments* in Proceedings European Symposium Science, Technology and European Heritage-Bologna 1989. Eds. N. S. Baer, C. Sabbioni e A.I. Sors. Commission of the European Communities, Butterworth – Heinemann, Oxford. pp. 439-442.
- Casal Porto, M., Silva Hermo, B. M., Guitián, F. (1989). *Estado de alteración del granito en edificios monumentales en Santiago y La Coruña*. Cuaderno do Laboratorio Xeolóxico de Laxe, vol. 14. pp. 43-54.
- Castro D. (2010). *Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos no ar ambiente*. Tese de Doutoramento. Universidade do Porto. Porto. 189 pp.
- Castro, E. (1974). *Determination of the pore-size distribution in stones by means of the moisture suction*. LNEC, Memória, N°. 441. Lisboa. 11 pp.
- Castro, E. (1977). *Détermination de la porométrie et de la surface spécifique des pierres par des essais de succion*. LNEC, Memória, N°. 490. Lisboa. 16 pp.

- Castro, E. (1979a). *Les méthodes de succion dans l'étude de l'altération des pierres*. LNEC, Memória, N°. 516. Lisboa. 29 pp.
- Castro, E. (1979b). *Évaluation de l'hygroscopicité des pierres*. LNEC, Memória, N°. 526. Lisboa. 22 pp.
- Castro, E. (1981). *Quelques études sur l'efficacité et la durabilité de deux traitements appliqués à un calcaire*. LNEC, Memória, N°. 563. Lisboa. 13 pp.
- Castro, E. (1983). *Studies on stone treatments*. LNEC, Memória, N°. 584. Lisboa, 6 pp.
- Castro, E. (1985). *Estudos sobre tratamentos de protecção de pedras contra os agentes atmosféricos e a poluição*. Proc. 54/11/7390 e Proc. 54/1/7881. Lisboa. 54 pp.
- Castro, E. (1988). *The interest of pore-size distribution in the identification of marbles suction methods*. LNEC, Memória, N°. 721. Lisboa. 12 pp.
- Castro, E., Cravo, M. R. (1987). *A civilização e a deterioração dos monumentos de pedra*. LNEC, Memória, N°. 689. Lisboa. 10 pp.
- Castro, E., Delgado Rodrigues, J. (1987). *Parecer sobre a conservação de duas igrejas, nos Açores*. Nota técnica N° 12/87-NP. 7 pp.
- Castro, E., Delgado Rodrigues, M. P. (1989a). *Parecer sobre a conservação do Pavimento da Biblioteca Joanina, em Coimbra*. Relatório 245/89 - NP/NQ. Lisboa. 9 pp.
- Castro, E., Delgado Rodrigues, J. (1989b). *A alteração e a conservação da Cruz de Portugal, em Silves*. LNEC, Memória, N°. 732. Lisboa. 11 pp.
- Castro, E., Delgado Rodrigues, J., Cravo, M. R. T. (1985). *Étude du nettoyage de la façade d'une église à Lisbonne (Igreja da Conceição Velha)*. LNEC, Memória, N°. 657. Lisboa. 7 pp.
- Castro, E., Delgado Rodrigues, J., Cravo, M. R. T. (1987). *Estudos sobre a alteração e a conservação do pórtico da Igreja de Bravães*. Proc. 54/1/8558, Obra 24/53/485. Lisboa. 24 pp.
- Castro, E., Delgado Rodrigues, J., Cravo, M. R. T. (1988). *Étude du nettoyage d'un monument en granite*. LNEC, Memória, N°. 715. Lisboa. 10 pp.
- Castro, E., Delgado Rodrigues, J., Cravo, M. R. T. (1990a). *Estudos relativos à alteração e conservação da fachada da Igreja de Santa Cruz, em Coimbra*. Relatório 176/90 - NP/NQ. Lisboa. 99 pp.
- Castro, E., Delgado Rodrigues, J., Cravo, M. R. T. (1990b). *Estudos relativos à alteração e à conservação do granito do claustro do Mosteiro de Grijó, em Vila Nova de Gaia*. Relatório 243/90 - GERO/NQ. Lisboa. 41 pp.
- Castro, E., Delgado Rodrigues, J., Cravo, M. R. T. (1991a). *Estudo relativo à acção dos pombos sobre a pedra das igrejas do Carmo e dos Carmelitas, no Porto, e de São Gonçalo, em Amarante*. Relatório 44/91 GERO/NQ. Lisboa. 27 pp.
- Castro, E., Delgado Rodrigues, J., Cravo, M. R. T. (1991b). *Estudo relativo à alteração e à conservação do granito da Torre dos Clérigos, no Porto*. Relatório 70/91 - GERO/NQ. Lisboa. 18 pp.
- Cooper, T. P. (1989). *Effects of air pollution on historic buildings and monuments*. European Community R&D on Environmental Protection Research Reviews, Publication N°. EUR 11626 of the Commission of the European Communities. 56 pp.
- Cooper, T. P. (1993). *Conservation of historic buildings, monuments and associated cultural property*. European Cultural Heritage Newsletter on Research, vol. 7, N°. 1-4. pp. 43-48.

- Cooper, T. P. (1994). *Effects of air pollution on historic buildings and monuments (1986-1990). Scientific basis for conservation: air pollution levels, stone decay rates and their interrelation at historic monuments*. European Cultural Heritage Newsletter on Research, vol. 8, Nº. 2. pp. 13-21.
- Cooper, T. P., Dowding, P., Lewis, J. O., Mulvin, L., O' Brien, P., Olley, J., O' Daly, G. (1991). *Contribution of calcium from limestone and mortar to the decay of granite walling* in Proceedings European Symposium Science, Technology and European Heritage-Bologna 1989. Eds. N.S. Baer, C. Sabbioni e A.I. Sors. Commission of the European Communities, Butterworth - Heinemann, Oxford. pp. 456-461.
- Costa, A., Guedes, J., Paupério, E., Almeida, C. (2008). *Elementos Decorativos da Cobertura – Edifício Neoclássico Hospital Geral de St. António*. Relatório de Inspeção e Diagnóstico. Instituto da Construção, FEUP. Porto. 22 pp.
- Costa, D. M. R. (2007). *Avaliação de tratamentos para a conservação de superfícies graníticas arenizadas*. Tese de Especialista do LNEC. LNEC, Lisboa. 217 pp.
- Costa Leite, A. L. F. (2008). *Estudo da deterioração da pedra na Igreja de Santa Clara em Vila do Conde – Proposta de tratamento*. Tese de Mestrado. Universidade do Porto. Porto. 178 pp.
- Del Monte M., Sabbioni, C. (1987). *Glassy spherical particles on stone*. European Cultural Heritage Newsletter, vol. 1, Nº. 4. pp. 4-7.
- Del Monte, M., Sabbioni, C., Vittori, O. (1981). *Airborne carbon particles and marble deterioration*. Atmospheric Environment, vol. 15, Nº. 5. pp. 645-652.
- Del Monte, M., Sabbioni, C., Ventura, A., Zappia, G. (1984a). *Crystal growth from carbonaceous particles*. The Science of the Total Environment, 36. pp. 247-254.
- Del Monte, M., Sabbioni, C., Vittori, O. (1984b). *Urban stone sulphation and oil-fired carbonaceous particles*. The Science of the Total Environment, 36. pp. 369-376.
- Delgado Rodrigues, J. (1978). *Some problems raised by the study of the weathering of igneous rocks* in Proceedings Colloque International UNESCO – RILEM. Altération et Protection des Monuments en Pierre-Paris 1978. 16 pp.
- Delgado Rodrigues, J. (1991). *Causes, mechanisms and measurement of damage in stone monuments* in Proceedings European Symposium Science, Technology and European Heritage-Bologna 1989. Eds. N.S. Baer, C. Sabbioni e A.I. Sors. Commission of the European Communities, Butterworth - Heinemann, Oxford. pp. 124-137.
- Delgado Rodrigues, J. (1993a). *Conservation of granitic rocks with application to megalithic monuments – granitix*. European Cultural Heritage Newsletter on Research, vol. 7, Nº. 1-4. pp. 27-33.
- Delgado Rodrigues, J. (1993b). *Stone conservation in Portugal: problems, methods and means* in Proceedings International Workshop Conservation of Architectural Surfaces: Stones and Wall Covering-Venezia 1992. Eds. G. Biscontin e L. Graziano. Il Cardo. pp. 147-154.
- Delgado Rodrigues, J. (1993c). *Incógnitas e problemas relativos à conservação de rochas graníticas e a sua abordagem nos projectos STEP* in Alteración de Granitos y rocas afines. Proceedings Workshop Alteración de Granitos y rocas afines, empleados como materiales de construcción-Ávila 1991. Eds. Vicente Hernández, Molina Ballesteros e Rives Arnau. C.S.I.C., Madrid. pp. 67-73.
- Delgado Rodrigues, J. (1996). *Conclusions report - Project STEP-CT90-0110 - Conservation of granitic rocks with application to the megalithic monuments* in Proceedings of the European Comission

Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994. Eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5. pp. 161-242.

Delgado Rodrigues, J. (2000). *Parecer sobre a conservação da Igreja da Misericórdia, em Braga*. Relatório 130/00 – GERO. Lisboa. 14 pp.

Delgado Rodrigues, J., Castro, E. (1989). *Some remarks on the efficacy and harmfulness of stone cleaning*. LNEC, Memória, N°. 739. Lisboa. 7 pp.

Delgado Rodrigues, J., Castro, E. (1990). *Parecer sobre o estado de conservação da platibanda e dos pináculos do Mosteiro de Santa Clara, em Vila do Conde*. Relatório 217/90 – NP. Lisboa. 14 pp.

Delgado Rodrigues, J., Costa, D. (2000). “Parecer sobre a conservação do Mosteiro de Tibães. Relatório 61/00 – GERO. Lisboa. 26 pp.

Delgado Rodrigues, J., Costa, D., Pinto, A. P. F. (1996). *Use of water absorption characteristics for the study of stone treatments* in Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994. Eds. M. A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5. pp. 319-324.

Delgado Rodrigues, J., Gil Saraiva, J. A. (1985). *Experimental and theoretical approach to the study of the mechanism of wind erosion of stone in monuments*. LNEC, Memória, N°. 654. Lisboa. 9 pp.

Delgado Rodrigues, J., Moura, M. R. M., Soares Da Silva, J. C. (1994). *Limpeza da Torre dos Clérigos - estudos realizados e trabalhos executados*. Monumentos, N°. 1. pp. 68-75.

Delgado Rodrigues, J., Prudêncio, M. I. (1992). *Characteristics and genesis of the calcite deposits of the Jeronimos Monastery, Lisbon, Portugal* in Proceedings 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Lisboa. 1992. Eds. J. Delgado Rodrigues, Fernando Henriques e F. Telmo Jeremias. Volume 3. Pp 1383-1391

Duffy, A. P., Perry, S. H. (1994). *The effects of mortars on granite decay* in Proceedings Conference Granite Weathering and Conservation-Dublin 1993. Eds. E. Bell e T.P. Cooper. Dublin. pp.1-9.

EN 196-1 (2016). *Methods of testing cement – Part 1: Determination of strength*. CEN – Comité Européen de Normalisation. Brussels. 33 pp.

EN 196-3 (2016). *Methods of testing cement – Part 3: Determination of setting times and soundness*. CEN – Comité Européen de Normalisation. Brussels. 13 pp.

EN 1015-3 (1999). *Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. CEN – Comité Européen de Normalisation. Brussels. 10 pp.

Fassna, V., Arbizzani, R., Naccari, A. (1996). *Salt efflorescence on the marble slabs of S. Maria dei Miracoli church: a survey on their origin and on the methodology of their removal* in Proceedings 8th International Congress on Deterioration and Conservation of stone, Berlin 1996, ed. Josef Riederer, Vol.1, pp. 523-534.

Fassina, V., Lazzarini, L., Biscontin, G. (1976). *Effects of atmospheric pollutants on the composition of black crusts deposited on venetian marbles and stones* in Proceedings 2nd International Symposium The Deterioration of Building Stones-Athens 1976. pp. 201-211.

Fassina, V., Lazzarini, L., Biscontin, G., Calogero, S. (1982). *Influenza del materiale particellare atmosferico sui processi di degradazione della pietra a Venezia* in Proceedings 3rd International

- Symposium on the Deterioration and Preservation of Stones-Venezia 1979. Ed. B. Badan. Libreria Progetto, Padova. pp. 43-54.
- Feddema, J.J., Meierding, T. C. (1987). *Marble weathering and air pollution in Philadelphia*. Atmospheric Environment, vol. 21, N°. 1. pp. 143-157.
- Ferreira, J. F. O. (2004). *Caracterização da Acção da Água em Edifícios de Pedra*. Tese de Mestrado. Escola de Engenharia. Universidade do Minho, Guimarães. 177 pp.
- Ferreira, N.; Iglesias, M.; Noronha, F.; Pereira, E.; Ribeiro, A. e Ribeiro, M.L. (1987). *Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico*. In Libro Homenaje a L.C. Garcia de Figuerola, (ed. Rueda), Madrid. 37-51pp.
- Ferreira Pinto, A. P. (1993). *Conservação de pedras graníticas. Estudo da acção de hidrófugos*. Tese de Mestrado. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 345 pp.
- Ferreira Pinto, A. P. F., Delgado Rodrigues, J., Costa, D. R. (1994). *Assessment of the efficacy and harmfulness of water repellents in granite* in Proceedings 3º Simposio Internazionale La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo-Venezia 1994. Eds. V. Fassina, H. Ott e F. Zezza. Venezia. pp. 883-889
- Fojo, A. C. O. T. (2006). *Estudo da aplicação de consolidantes e hidrófugos em pedras graníticas da Igreja Matriz de Caminha*. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. Porto. 446 pp.
- Fort, R., Lopez De Ascona, M. C., Mingarro, F. (1995). *Petrophysical properties of the stone material of the bell tower of the Cathedral of Toledo (Spain)* in Proceedings 1º Congresso Internacional da Pedra Natural-Lisboa 1995. pp. 315-323.
- Freitas, V. P., Begonha, A., Teles, M. (1997). *Parecer sobre o comportamento da envolvente e dos revestimentos em pedra da agência de Braga do Banco de Portugal*. Instituto da Construção, Relatório - LFC / IC - 037.97. Porto. 33 pp.
- Freitas, V. P., Maldonado, E., Neves Dos Santos, Begonha, A., Alexandre, J. L., Ferreira, J. R., Ramos, N., Vaquero, P., Barreira, E. (2005). *Parecer sobre as patologias da construção e deficiente comportamento dos sistemas do Edifício da Câmara Municipal do Porto – Diagnóstico e metodologia para os trabalhos de reparação*. Instituto da Construção, FEUP, Porto. 144 pp.
- Fritz, B., Jeannette, D. (1981). *Pérogaphie et contrôle géochimique expérimental de transformations superficielles de grès de monuments*. Sciences Géologiques, 34, 4. Strasbourg. pp. 193-208.
- Groux, D. (1986). *Rapport d' etude Notre-Dame-la-Grande, Poitiers, Vienne - portail ouest*. Poitiers. 22 pp.
- Hammecker C. (1993). *Importance des transferts d'eau dans la dégradation des pierres en oeuvre*. Tese de Doutoramento. Université Louis Pasteur de Strasbourg. Strasbourg. 254 pp.
- Haneef, S. J.; Dickinson, C.; Johnson, J. B.; Thompson, G. E., Wood, G. C. (1991). *Degradation of coupled stones by artificial acid rain solution*. Proceedings European Symposium Science, Technology and European Heritage-Bologna 1989, (eds. N.S. - Heinemann, Oxford. pp. 469-473.
- Jeannette, D. (1980). *Les grès du Château du Landsberg: exemple d'évolution des grès vosgiens en milieu rural*. Sciences Géologiques, 33, 2. Strasbourg. pp. 111-118.
- Jeannette, D. (1981). *Modifications superficielles de grès en oeuvre dans les monuments alsaciens* Sciences Géologiques, 34, 1. Strasbourg. pp. 37-46.

- Jeannette, D. (1982). *Altérations des grès des monuments alsaciens*. Encyclopédie de l'Alsace, vol. I. Strasbourg. pp. 163-168.
- Jones, M. S., O'Brien, P. F., Haneef, S. J., Thompson, G. E., Wood, G. C., Cooper, T. P. (1996). *A study of decay occurring in Leinster granite, house n° 9, Trinity college, Dublin* in Proceedings 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Berlin 1996. Ed. Josef Riederer. Vol. 1. Berlin. pp. 211-221.
- LNEC E 64 (1979). *Cimentos. Determinação da massa volúmica*. Especificação LNEC. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. 2 pp.
- Madureira, M. C. V. (2008). *Diagnóstico e Proposta de Tratamento da Pedra do Mosteiro da Serra do Pilar*. Tese de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia. Instituto Politécnico do Porto. Porto. 200 pp.
- Madureira, M. C. V., Begonha, A. (2011). *Salt weathering in the Monastery of Serra do Pilar in Vila Nova de Gaia, Portugal*. Proceedings of Salt Weathering on Buildings and Stone Sculptures SWBSS 2011, Limassol 2011. Eds. I. Ioannou, M. Theodoridou. pp. 121-128.
- Malheiro, G., Barbosa, R., Begonha, A. (2004). *Deterioração da pedra do Convento de São Gonçalo de Amarante*. Artigo de Projecto da opção de Materiais e Processos de Construção da Licenciatura em Engenharia Civil. FEUP, Porto. 17 pp.
- Margalha, M. G., Veiga, M. R., Brito, J. (2006). *Algumas vantagens do uso da cal em pasta em revestimentos*. Proceedings 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios PATORREB 2006. Porto. 2006. Eds. Vasco Peixoto de Freitas, Vítor Abrantes, César Diaz Gómez. Vol I. pp. 283-293.
- Millot, G., Cogne, J., Jeannette, D., Besnus, Y., Monnet, B., Guri, F., Schimpf, A. (1967). *La maladie des grès de la cathédrale de Strasbourg*. Bulletin Services Géologiques Alsace Lorraine, 20, 3. Strasbourg. pp.131-157.
- Millot, G., Jeannette, D. (1975). *La maladie des pierres de grès: la cathédrale de Strasbourg*. Les Monuments Historiques de la France - La Maladie de la Pierre, numéro hors série. pp. 33-35.
- Moutinho, A. M. (2005). *Estudo da deterioração da pedra da Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Contributo para o ensino das geociências*. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências. Universidade do Porto, Porto. 304 pp.
- Neville, A. M. (1995). *Properties of concrete*. Longman Group Limited. London.
- Nord, A.G., Ericsson, T., (1993). *Chemical analysis of the black layers on building stone*. Studies in Conservation, vol. 38, N° 1, pp. 25-35.
- Nord, A.G., Tronner, K.,(1990). *Air pollution stone deterioration products studied by XRD and other techniques* - in Proceedings XVth Congress International Union of Crystallography-Bordeaux 1990.
- Nord, A.G., Tronner, K. (1991). *Stone weathering - air pollution effects evidenced by chemical analysis*. Konserverings Tekniska Studier RIK 4, Riksantikvarieambetet och Statens Historiska Museer, Stockholm, 80 pp.
- Nord, A.G., Tronner, K., (1992). *Characterization of thin black layers* in Proceedings 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Lisboa 1992, (eds. J. Delgado Rodrigues, Fernando Henriques e F. Telmo Jeremias), LNEC, vol. 3, Lisboa, pp. 217-225.
- Noronha, F.; Ramos, J.M.F.; Rebelo, J.A.; Ribeiro, A. e Ribeiro, M.L. (1979). *Essai de corrélation des phases de déformation Hercynienne dans le Nord-Ouest Péninsulaire*. Boletim da Sociedade Geológica de Portugal. vol. XXI. fasc. II-III. 227-237 pp.

- NP EN 196-6 (2010). *Métodos de ensaio de cimentos. Parte 6: Determinação da finura*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 21pp.
- NP EN 197-1 (2012). *Cimento. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 39pp.
- NP EN 459-1 (2015). *Cal de construção. Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade*. Instituto Português da Qualidade, Caparica. 49pp.
- NP EN 459-2 (2011). *Cal de construção. Parte 2: Métodos de ensaio*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 66pp.
- NP EN 933-1 (2014). *Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método da peneiração*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 20pp.
- NP EN 1097-3 (2002). *Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 15pp.
- O' Brien, P. F., Cooper, T. P. C., Lyons, F. (1993). *Granite decay research in Ireland* in Alteración de Granitos y rocas afines - Proceedings Workshop Alteración de Granitos y rocas afines, empleados como materiales de construcción-Ávila 1991. Eds. Vicente Hernández, Molina Ballesteros e Rives Arnau. C.S.I.C., Madrid. pp. 163-166.
- Oliveira, A. F. (2017). *Caracterização do estado de conservação do granito no Museu do Vinho do Porto na Rua da Reboleira*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 227 pp.
- Oliveira, R. M. C. (2001). *Deterioração de monumentos graníticos: o caso da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto – abordagem didática*. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências. Universidade do Porto. Porto. 206 pp.
- Oliveira, B. P. (2008). *Caracterização de filmes negros em pedras graníticas – o caso de estudo da Igreja da Venerável Ordem Terceira de São Francisco*. Tese de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa. 58 pp.
- Ordaz, J., Esbert, R. S. (1985). *Porosity and capillarity in some sandstone and dolomite monumental stones* in Proceedings 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Lausanne 1985. pp. 93-102.
- Peleg, M., Burla, E., Cohen, I., Luria, M. (1989). *Deterioration of Jerusalem limestone from air pollutants; field observations and laboratory simulation*. Environmental Monitoring and Assessment, vol. 12, Nº. 2. pp. 191-201.
- Petrucci, E. G. R. (1993). *Materiais de Construção*. Ed. Eladio G. R. Petrucci, São Paulo.
- Pinho, L., Castro, D., Begonha, A., Morais, S., Pereira, M. C., Delerue-Matos, C., Alvim-Ferraz, M. C., (2009). *Films negros en edificios históricos de Oporto: caracterización y experiencias de limpieza* in CD-ROM Proceedings 1er Congreso Iberoamericano y VIII Jornada Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio, La Plata, Buenos Aires. 13 pp.
- Resende, J.A.M. (2010). *Análise dos efeitos de produtos preventivos e correctivos anti-graffiti no granito do Porto*. Tese de Mestrado. Escola de Engenharia. Universidade do Minho, Guimarães. 266 pp.
- Rivas Brea, T., Prieto, B., Silva Hermo, B. (1994). *Plaque-shedding by granite in the Monastery of San Martín Pinario (Santiago de Compostela, NW Spain)* in Proceedings 3º Simposio Internazionale La

Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo-Venezia 1994. Eds. V. Fassina, H. Ott e F. Zezza). Venezia. pp. 737-741.

Robert, M., Bernabe, E., Bromblet, P., Jaunet, A. M., Verges-Belmin, V., Penven, M. J. (1996). *Identification of two alteration microsystems chemical and physical, causing granite and kersantite degradation in Brittany (France)* in Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994. Eds. M. A. Vicente, J. Delgado Rodrigues, J. Acevedo. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5. pp. 67-71.

Roekens, E., Van Grieken, R. (1989). *Rates of air pollution induced surface recession and material loss for a cathedral in Belgium*. Atmospheric Environment, vol. 22, N°. 1. pp. 271-277.

Roekens, E., Komy, Z., Leysen, L., Veny, P., Van Grieken, R. (1988). *Chemistry of precipitation near a limestone building*. Water, Air and Soil Pollution, 38, 3-4. pp. 273-282.

Rosa, R. N. (1996). *Contributions to the physical characterization of granitic rocks*. Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994. Eds. M. A. Vicente, J. Delgado Rodrigues, J. Acevedo. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5. pp. 255-260.

Saaby, L., Fenger, J., Brinch Madsen, H., Rosenkrans Høyer, K., Holm, K. (1989). *Air pollution and its effect on the Danish cultural heritage*. European Cultural Heritage Newsletter, vol. 3, N°. 2. pp. 17-25.

Scherer, G.W. (2000). *Stress from crystallization of salt in pores*. Proceedings of the 9th International Congress on deterioration and conservation of stone, Venice 2000, Ed. Vasco Fassina, Vol 1, pp 187-195.

Schiavon, N., (1993). *Microfabrics of weathered granite in urban monuments*. Proceedings International RILEM/UNESCO Congress Conservation of Stone and other Materials-Paris 1993, (ed. M. J. Thiel), E & FN Spon, vol. 1, London, pp. 271-278.

Schiavon, N., Chiavari, G., Fabbri, D., Schiavon, G. (1994). *Microscopical and chemical analysis of black patinas on granite* in Proceedings 3° Simposio Internazionale La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo-Venezia 1994. Eds. V. Fassina, H. Ott e F. Zezza. Venezia. pp. 93-99.

Schiavon, N., Chiavari, G., Fabbri, D., Schiavon, G. (1996). *Soiling of urban granite 2: chemical analyses of dark surficial patinas* in Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994. Eds. M. A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5. pp. 313-318.

Sequeira Braga, M.A., Alves, C., Begonha, A. (1993). *Weathering of the Oporto granite and the deterioration of the Hospital de Santo António: historical monument built with granitic materials. Alteración de Granitos y rocas afines*. Workshop Alteración de Granitos y rocas afines, empleados como materiales de construcción-Ávila 1991. Eds. Vicente Hernández, Molina Ballesteros e Rives Arnau. C.S.I.C. Madrid. pp. 153-154.

Sequeira Braga, M. A., Alves, C., Begonha, A., Gomes Da Silva, F. (1996). *Industrial and urban pollution impact in Portuguese monuments: comparative study between two regions*. Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994. Eds. M. A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5. pp. 127-132.

- Sequeira Braga, M. A., Begonha, A. (2010). *A Deterioração da Pedra em Monumentos Graníticos* in Ciências Geológicas: Ensino Investigação e sua História, Publicação Comemorativa do Ano Internacional do Planeta Terra, Associação Portuguesa de Geólogos e Sociedade Geológica de Portugal. Eds. J. M. Coteló Neiva, A. Ribeiro, L. Mendes Víctor, F. Noronha, M. Magalhães Ramalho. Volume II Geologia Aplicada, Capítulo III Geologia de Engenharia. Coordenação de J. M. Coteló Neiva e R. Oliveira. pp. 283-293.
- Silva, A. C. (2012). *Estudo diagnóstico, cartografia e proposta de tratamento das deteriorações do granito do Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Viana do Castelo*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 326 pp.
- Silva Hermo, B., Casal Porto, M., Prieto, B., Rivas Brea, T., Guitián, F. (1994). *Forms and factors of weathering in the Cathedral of Santiago de Compostela (NW Spain)* in Proceedings 3º Simposio Internazionale La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo-Venezia 1994, (eds. V. Fassina, H. Ott e F. Zezza), Venezia, pp. 743-748.
- Silva Hermo, B., Rivas Brea, T., Prieto, B. (1996a). *Relation between type of soluble salts and decay forms in granitic coastal churches in Galicia (NW Spain)* in Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments-Bari 1996. Ed. F. Zezza. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 4. pp. 183-190.
- Silva Hermo, B., Rivas Brea, T., Prieto, B., Delgado Rodrigues, J. (1996b). *A comparison of the mechanisms of plaque formation and sand disintegration in granite in historical buildings* in Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994. Eds. M. A. Vicente, J. Delgado Rodrigues, J. Acevedo. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5. pp. 269-274.
- Slezakova, K., Castro, D., Begonha, A., Delerue-Matos, C., Alvim-Ferraz, M. C., Morais, S., Pereira, M. C. (2011). *Air pollution from traffic emissions in Oporto, Portugal: health and environmental implications*. Microchemical Journal, 99. 51-59.
- Slezakova, K., Castro, D., Begonha, A., Delerue-Matos, C., Alvim-Ferraz, M.C., Morais, S., Pereira, M.C. (2013). *Evaluation of atmospheric deposition and patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons in façades of historic monuments of Oporto (Portugal)*. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 2013, Vol. 93, N° 10, pp. 1052-1064.
- Smith, B. J., Magee, R. W., Whalley, W. B. (1993). *Decay of granite in a polluted environment: Budapest* in Alteración de Granitos y rocas afines - Proceedings Workshop Alteración de Granitos y rocas afines, empleados como materiales de construcción-Ávila 1991. Eds. Vicente Hernández, Molina Ballesteros, Rives Arnau. C.S.I.C., Madrid. pp. 159-162.
- Sousa, G. (2009). *Influência das argamassas sobre o granito em cantarias e alvenarias*. Tese de Mestrado. Universidade do Porto. Porto. 293 pp.
- Sousa, G., Begonha, A. (2010a). *Acção das argamassas na degradação do granito em cantarias e alvenarias*. Memórias N°. 14, ISSN N° 087-1607, Proceedings X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e XVI Semana de Geoquímica, Porto 2010. Eds. Deolinda Flores e Manuela Marques. pp. 967-976.
- Sousa, G., Begonha, A. (2010b). *Influência das argamassas sobre o granito em cantarias e alvenarias*. CD ROM do III Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios, Rio de Janeiro 2010, Artigo 338. 10 pp.

- Sousa Coutinho, A. (1988). *Fabrico e propriedades do betão, Volume 1*. LNEC. Lisboa. 401 pp
- Sousa Coutinho, A., Gonçalves, A. (1994). *Fabrico e propriedades do betão, Volume 3*. LNEC. Lisboa. 368 pp.
- Tabasso, M. L. (1989). *La conservazione delle pietre naturali ed artificiali*. I.R.N.A./C.S.I.C., Salamanca. 30 pp.
- Teles M., Begonha A. (1999). *Parecer sobre o estado de conservação da pedra do Palácio do Freixo*. Porto. 39 pp.
- Vicente, M. A. (1996). *Final report 1991-1994 - Project STEP-CT90-0101 - Granitic materials and historical monuments: study of the factors and mechanisms of weathering and application to historical heritage conservation* in Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994. Eds. M. A. Vicente, J. Delgado Rodrigues, J. Acevedo. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5. pp. 1-44.
- Vicente, M. A., Garcia-Talegon, J., Iñigo, A. C.; Molina, E., Rives, V. (1993). *Weathering mechanisms of silicated rocks in continental environments* in Proceedings International RILEM/UNESCO Congress Conservation of Stone and other Materials-Paris 1993. Ed. M. J. Thiel. E & FN Spon, vol. 1, London. pp. 320-327.
- Warke, P. A., Smith, B. J. (1994). *Inheritance effects on the efficacy of salt weathering mechanisms in thermally cycled granite blocks under laboratory and field conditions* in Proceedings Conference Granite Weathering and Conservation-Dublin 1993. Eds. E. Bell e T. P. Cooper. Dublin. pp.19-27.
- Young, M. E., Jones, M. S., MacDonald, J., Urquhart, D. C. M., Nickolson, K., McHardy, W. J. (1996). *Investigations on the soiling and cleaning of some scottish granites* in Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994. Eds. M. A. Vicente, J. Delgado Rodrigues, J. Acevedo. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5. pp. 429-434.
- Zehnder, K. (1979). *Weathering of molasse sandstones on monuments and natural outcrops* in Proceedings 3rd International Congress on the Deterioration and Preservation of Stone-Venezia 1979. pp. 91-105.
- Zehnder, K., Arnold, A. (1984). *Stone damage due to formate salts*. Studies in Conservation, 29. pp. 23-34.
- Zehnder, K., Arnold, A. (1988). *New experiments on salt crystallization* in Proceedings of the 6th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Torun 1988. pp. 320-329.
- Zehnder, K., Arnold, A. (1989). *Crystal growth in salt efflorescence*. Journal of Crystal Growth, 97, Amsterdam. pp. 513-521.

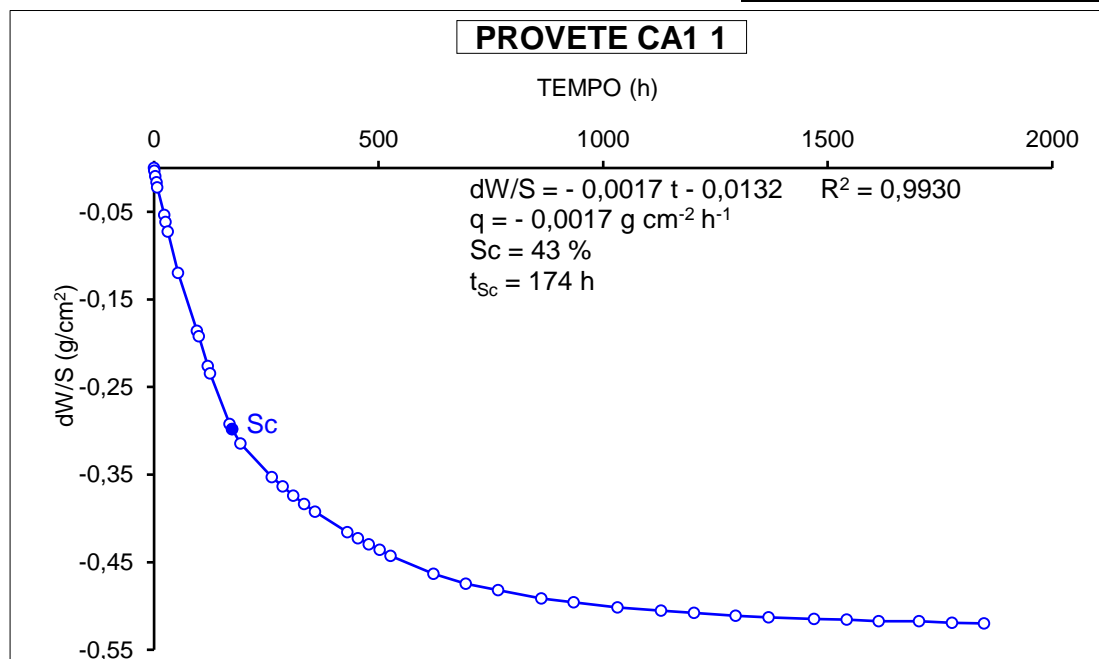
ANEXOS

Anexo 1 - Ensaio de evaporação – Provete CA1 1

| PROVETE CA1 1 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 5 | 3 | 5 | 2018 | 196,90 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 6 | 3 | 5 | 2018 | 196,85 | 61 | 1,02 | -0,0032 |
| 13 | 20 | 3 | 5 | 2018 | 196,75 | 195 | 3,25 | -0,0095 |
| 15 | 41 | 3 | 5 | 2018 | 196,64 | 336 | 5,60 | -0,0164 |
| 17 | 7 | 3 | 5 | 2018 | 196,55 | 422 | 7,03 | -0,0221 |
| 8 | 46 | 4 | 5 | 2018 | 196,05 | 1361 | 22,68 | -0,0536 |
| 11 | 57 | 4 | 5 | 2018 | 195,92 | 1552 | 25,87 | -0,0618 |
| 16 | 57 | 4 | 5 | 2018 | 195,75 | 1852 | 30,87 | -0,0725 |
| 15 | 48 | 5 | 5 | 2018 | 195,00 | 3223 | 53,72 | -0,1197 |
| 9 | 47 | 7 | 5 | 2018 | 193,95 | 5742 | 95,70 | -0,1859 |
| 13 | 45 | 7 | 5 | 2018 | 193,85 | 5980 | 99,67 | -0,1922 |
| 9 | 50 | 8 | 5 | 2018 | 193,31 | 7185 | 119,75 | -0,2262 |
| 14 | 43 | 8 | 5 | 2018 | 193,18 | 7478 | 124,63 | -0,2344 |
| 10 | 24 | 10 | 5 | 2018 | 192,26 | 10099 | 168,32 | -0,2924 |
| 15 | 43 | 10 | 5 | 2018 | 192,17 | 10418 | 173,63 | -0,2981 |
| 10 | 20 | 11 | 5 | 2018 | 191,91 | 11535 | 192,25 | -0,3144 |
| 8 | 30 | 14 | 5 | 2018 | 191,30 | 15745 | 262,42 | -0,3529 |
| 8 | 26 | 15 | 5 | 2018 | 191,13 | 17181 | 286,35 | -0,3636 |
| 8 | 32 | 16 | 5 | 2018 | 190,96 | 18627 | 310,45 | -0,3743 |
| 8 | 25 | 17 | 5 | 2018 | 190,81 | 20060 | 334,33 | -0,3838 |
| 8 | 25 | 18 | 5 | 2018 | 190,67 | 21500 | 358,33 | -0,3926 |
| 8 | 26 | 21 | 5 | 2018 | 190,30 | 25821 | 430,35 | -0,4159 |
| 8 | 26 | 22 | 5 | 2018 | 190,19 | 27261 | 454,35 | -0,4228 |
| 8 | 26 | 23 | 5 | 2018 | 190,08 | 28701 | 478,35 | -0,4298 |
| 8 | 41 | 24 | 5 | 2018 | 189,98 | 30156 | 502,60 | -0,4361 |
| 9 | 4 | 25 | 5 | 2018 | 189,87 | 31619 | 526,98 | -0,4430 |
| 8 | 33 | 29 | 5 | 2018 | 189,55 | 37348 | 622,47 | -0,4632 |
| 8 | 30 | 1 | 6 | 2018 | 189,37 | 41665 | 694,42 | -0,4745 |
| 8 | 35 | 4 | 6 | 2018 | 189,25 | 45990 | 766,50 | -0,4821 |
| 8 | 42 | 8 | 6 | 2018 | 189,10 | 51757 | 862,62 | -0,4915 |
| 8 | 25 | 11 | 6 | 2018 | 189,03 | 56060 | 934,33 | -0,4959 |
| 10 | 1 | 15 | 6 | 2018 | 188,94 | 61916 | 1031,93 | -0,5016 |
| 10 | 53 | 19 | 6 | 2018 | 188,88 | 67728 | 1128,80 | -0,5054 |
| 12 | 38 | 22 | 6 | 2018 | 188,84 | 72153 | 1202,55 | -0,5079 |
| 9 | 19 | 26 | 6 | 2018 | 188,79 | 77714 | 1295,23 | -0,5111 |
| 10 | 33 | 29 | 6 | 2018 | 188,76 | 82108 | 1368,47 | -0,5130 |
| 15 | 37 | 3 | 7 | 2018 | 188,73 | 88172 | 1469,53 | -0,5148 |
| 16 | 27 | 6 | 7 | 2018 | 188,72 | 92542 | 1542,37 | -0,5155 |
| 15 | 30 | 9 | 7 | 2018 | 188,69 | 96805 | 1613,42 | -0,5174 |
| 9 | 57 | 13 | 7 | 2018 | 188,69 | 102232 | 1703,87 | -0,5174 |
| 11 | 10 | 16 | 7 | 2018 | 188,66 | 106625 | 1777,08 | -0,5193 |
| 10 | 7 | 19 | 7 | 2018 | 188,65 | 110882 | 1848,03 | -0,5199 |
| 10 | 24 | 23 | 7 | 2018 | 188,64 | 116659 | 1944,32 | -0,5205 |

Dados do provete CA1 1

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 196,90 |
| Secção (cm ²) | 15,87 |
| Altura (cm) | 6,15 |
| Saturação crítica (%) | 43 |

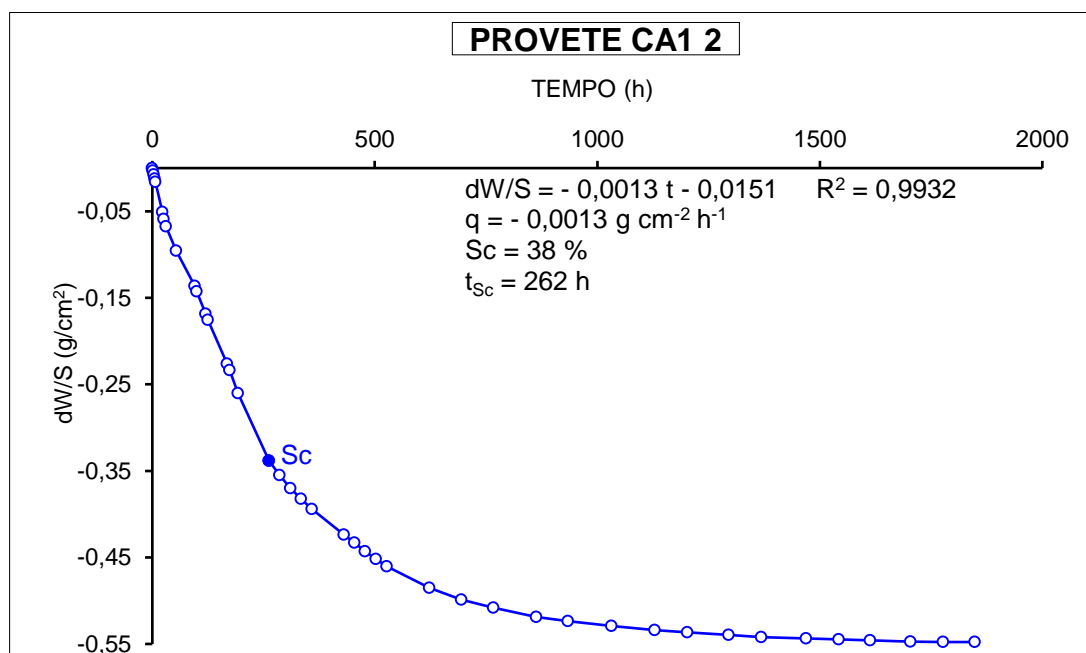


Anexo 2 - Ensaio de evaporação – Provete CA1 2

| PROVETE CA1 2 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 7 | 3 | 5 | 2018 | 197,86 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 6 | 3 | 5 | 2018 | 197,81 | 59 | 0,98 | -0,0031 |
| 13 | 20 | 3 | 5 | 2018 | 197,74 | 193 | 3,22 | -0,0074 |
| 15 | 42 | 3 | 5 | 2018 | 197,66 | 335 | 5,58 | -0,0124 |
| 17 | 7 | 3 | 5 | 2018 | 197,60 | 420 | 7,00 | -0,0161 |
| 8 | 47 | 4 | 5 | 2018 | 197,04 | 1360 | 22,67 | -0,0508 |
| 11 | 58 | 4 | 5 | 2018 | 196,91 | 1551 | 25,85 | -0,0589 |
| 16 | 58 | 4 | 5 | 2018 | 196,77 | 1851 | 30,85 | -0,0675 |
| 15 | 48 | 5 | 5 | 2018 | 196,32 | 3221 | 53,68 | -0,0954 |
| 9 | 47 | 7 | 5 | 2018 | 195,66 | 5740 | 95,67 | -0,1363 |
| 13 | 45 | 7 | 5 | 2018 | 195,56 | 5978 | 99,63 | -0,1425 |
| 9 | 51 | 8 | 5 | 2018 | 195,14 | 7184 | 119,73 | -0,1685 |
| 14 | 43 | 8 | 5 | 2018 | 195,03 | 7476 | 124,60 | -0,1754 |
| 10 | 24 | 10 | 5 | 2018 | 194,21 | 10097 | 168,28 | -0,2262 |
| 15 | 43 | 10 | 5 | 2018 | 194,09 | 10416 | 173,60 | -0,2336 |
| 10 | 21 | 11 | 5 | 2018 | 193,66 | 11534 | 192,23 | -0,2602 |
| 8 | 30 | 14 | 5 | 2018 | 192,40 | 15743 | 262,38 | -0,3383 |
| 8 | 27 | 15 | 5 | 2018 | 192,13 | 17180 | 286,33 | -0,3551 |
| 8 | 33 | 16 | 5 | 2018 | 191,89 | 18626 | 310,43 | -0,3699 |
| 8 | 26 | 17 | 5 | 2018 | 191,69 | 20059 | 334,32 | -0,3823 |
| 8 | 26 | 18 | 5 | 2018 | 191,50 | 21499 | 358,32 | -0,3941 |
| 8 | 26 | 21 | 5 | 2018 | 191,02 | 25819 | 430,32 | -0,4238 |
| 8 | 27 | 22 | 5 | 2018 | 190,87 | 27260 | 454,33 | -0,4331 |
| 8 | 26 | 23 | 5 | 2018 | 190,71 | 28699 | 478,32 | -0,4430 |
| 8 | 42 | 24 | 5 | 2018 | 190,57 | 30155 | 502,58 | -0,4517 |
| 9 | 5 | 25 | 5 | 2018 | 190,43 | 31618 | 526,97 | -0,4604 |
| 8 | 33 | 29 | 5 | 2018 | 190,03 | 37346 | 622,43 | -0,4852 |
| 8 | 31 | 1 | 6 | 2018 | 189,81 | 41664 | 694,40 | -0,4988 |
| 8 | 36 | 4 | 6 | 2018 | 189,66 | 45989 | 766,48 | -0,5081 |
| 8 | 42 | 8 | 6 | 2018 | 189,49 | 51755 | 862,58 | -0,5186 |
| 8 | 25 | 11 | 6 | 2018 | 189,41 | 56058 | 934,30 | -0,5236 |
| 10 | 1 | 15 | 6 | 2018 | 189,32 | 61914 | 1031,90 | -0,5292 |
| 10 | 53 | 19 | 6 | 2018 | 189,24 | 67726 | 1128,77 | -0,5341 |
| 12 | 38 | 22 | 6 | 2018 | 189,20 | 72151 | 1202,52 | -0,5366 |
| 9 | 19 | 26 | 6 | 2018 | 189,15 | 77712 | 1295,20 | -0,5397 |
| 10 | 34 | 29 | 6 | 2018 | 189,11 | 82107 | 1368,45 | -0,5422 |
| 15 | 37 | 3 | 7 | 2018 | 189,09 | 88170 | 1469,50 | -0,5434 |
| 16 | 28 | 6 | 7 | 2018 | 189,07 | 92541 | 1542,35 | -0,5447 |
| 15 | 31 | 9 | 7 | 2018 | 189,05 | 96804 | 1613,40 | -0,5459 |
| 9 | 59 | 13 | 7 | 2018 | 189,03 | 102232 | 1703,87 | -0,5471 |
| 11 | 11 | 16 | 7 | 2018 | 189,02 | 106624 | 1777,07 | -0,5478 |
| 10 | 8 | 19 | 7 | 2018 | 189,02 | 110881 | 1848,02 | -0,5478 |
| 10 | 24 | 23 | 7 | 2018 | 189,01 | 116657 | 1944,28 | -0,5484 |

Dados do provete CA1 2

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 197,86 |
| Secção (cm ²) | 16,14 |
| Altura (cm) | 6,14 |
| Saturação crítica (%) | 38 |

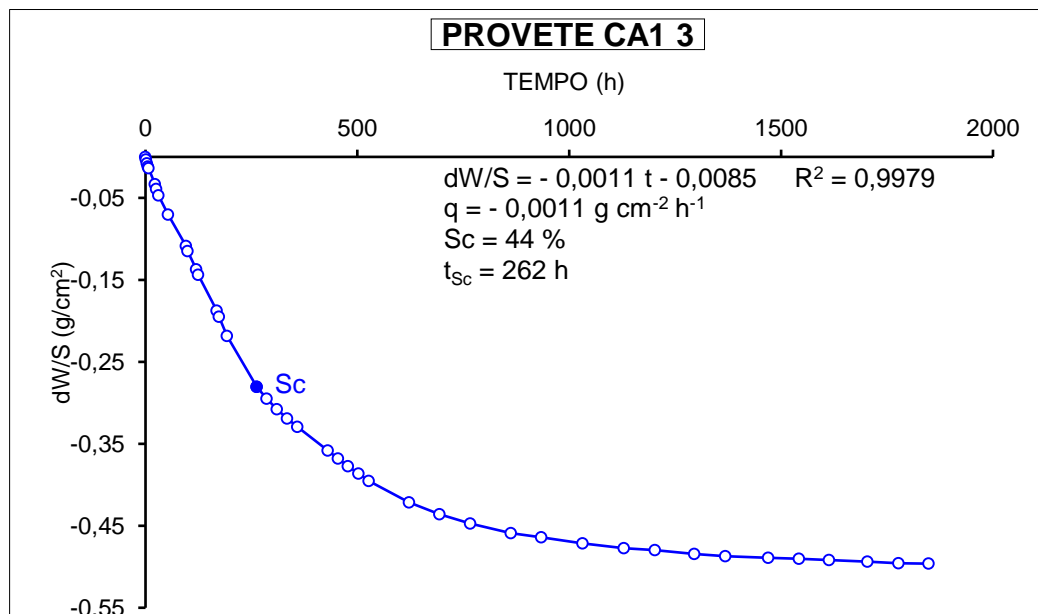


Anexo 3 - Ensaio de evaporação – Provete CA1 3

| PROVETE CA1 3 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 9 | 3 | 5 | 2018 | 192,75 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 6 | 3 | 5 | 2018 | 192,70 | 57 | 0,95 | -0,0033 |
| 13 | 21 | 3 | 5 | 2018 | 192,63 | 192 | 3,20 | -0,0078 |
| 15 | 42 | 3 | 5 | 2018 | 192,57 | 333 | 5,55 | -0,0118 |
| 17 | 8 | 3 | 5 | 2018 | 192,54 | 419 | 6,98 | -0,0137 |
| 8 | 48 | 4 | 5 | 2018 | 192,24 | 1359 | 22,65 | -0,0333 |
| 11 | 58 | 4 | 5 | 2018 | 192,15 | 1549 | 25,82 | -0,0392 |
| 17 | 0 | 4 | 5 | 2018 | 192,03 | 1851 | 30,85 | -0,0471 |
| 15 | 49 | 5 | 5 | 2018 | 191,67 | 3220 | 53,67 | -0,0706 |
| 9 | 48 | 7 | 5 | 2018 | 191,09 | 5739 | 95,65 | -0,1085 |
| 13 | 46 | 7 | 5 | 2018 | 190,99 | 5977 | 99,62 | -0,1151 |
| 9 | 51 | 8 | 5 | 2018 | 190,65 | 7182 | 119,70 | -0,1373 |
| 14 | 43 | 8 | 5 | 2018 | 190,55 | 7474 | 124,57 | -0,1438 |
| 10 | 25 | 10 | 5 | 2018 | 189,88 | 10096 | 168,27 | -0,1876 |
| 15 | 43 | 10 | 5 | 2018 | 189,77 | 10414 | 173,57 | -0,1948 |
| 10 | 22 | 11 | 5 | 2018 | 189,41 | 11533 | 192,22 | -0,2184 |
| 8 | 31 | 14 | 5 | 2018 | 188,46 | 15742 | 262,37 | -0,2805 |
| 8 | 28 | 15 | 5 | 2018 | 188,24 | 17179 | 286,32 | -0,2949 |
| 8 | 33 | 16 | 5 | 2018 | 188,04 | 18624 | 310,40 | -0,3079 |
| 8 | 26 | 17 | 5 | 2018 | 187,87 | 20057 | 334,28 | -0,3191 |
| 8 | 27 | 18 | 5 | 2018 | 187,71 | 21498 | 358,30 | -0,3295 |
| 8 | 27 | 21 | 5 | 2018 | 187,27 | 25818 | 430,30 | -0,3583 |
| 8 | 27 | 22 | 5 | 2018 | 187,12 | 27258 | 454,30 | -0,3681 |
| 8 | 27 | 23 | 5 | 2018 | 186,98 | 28698 | 478,30 | -0,3772 |
| 8 | 42 | 24 | 5 | 2018 | 186,84 | 30153 | 502,55 | -0,3864 |
| 9 | 5 | 25 | 5 | 2018 | 186,70 | 31616 | 526,93 | -0,3955 |
| 8 | 33 | 29 | 5 | 2018 | 186,30 | 37344 | 622,40 | -0,4217 |
| 8 | 31 | 1 | 6 | 2018 | 186,08 | 41662 | 694,37 | -0,4361 |
| 8 | 36 | 4 | 6 | 2018 | 185,91 | 45987 | 766,45 | -0,4472 |
| 8 | 45 | 8 | 6 | 2018 | 185,73 | 51756 | 862,60 | -0,4590 |
| 8 | 26 | 11 | 6 | 2018 | 185,65 | 56057 | 934,28 | -0,4642 |
| 10 | 2 | 15 | 6 | 2018 | 185,54 | 61913 | 1031,88 | -0,4714 |
| 10 | 54 | 19 | 6 | 2018 | 185,45 | 67725 | 1128,75 | -0,4773 |
| 12 | 39 | 22 | 6 | 2018 | 185,41 | 72150 | 1202,50 | -0,4799 |
| 9 | 20 | 26 | 6 | 2018 | 185,34 | 77711 | 1295,18 | -0,4845 |
| 10 | 34 | 29 | 6 | 2018 | 185,30 | 82105 | 1368,42 | -0,4871 |
| 15 | 38 | 3 | 7 | 2018 | 185,27 | 88169 | 1469,48 | -0,4890 |
| 16 | 28 | 6 | 7 | 2018 | 185,25 | 92539 | 1542,32 | -0,4903 |
| 15 | 31 | 9 | 7 | 2018 | 185,23 | 96802 | 1613,37 | -0,4917 |
| 10 | 0 | 13 | 7 | 2018 | 185,20 | 102231 | 1703,85 | -0,4936 |
| 11 | 11 | 16 | 7 | 2018 | 185,17 | 106622 | 1777,03 | -0,4956 |
| 10 | 8 | 19 | 7 | 2018 | 185,16 | 110879 | 1847,98 | -0,4962 |
| 10 | 25 | 23 | 7 | 2018 | 185,15 | 116656 | 1944,27 | -0,4969 |

Dados do provete CA1 3

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 192,75 |
| Secção (cm ²) | 15,30 |
| Altura (cm) | 6,28 |
| Saturação crítica (%) | 44 |

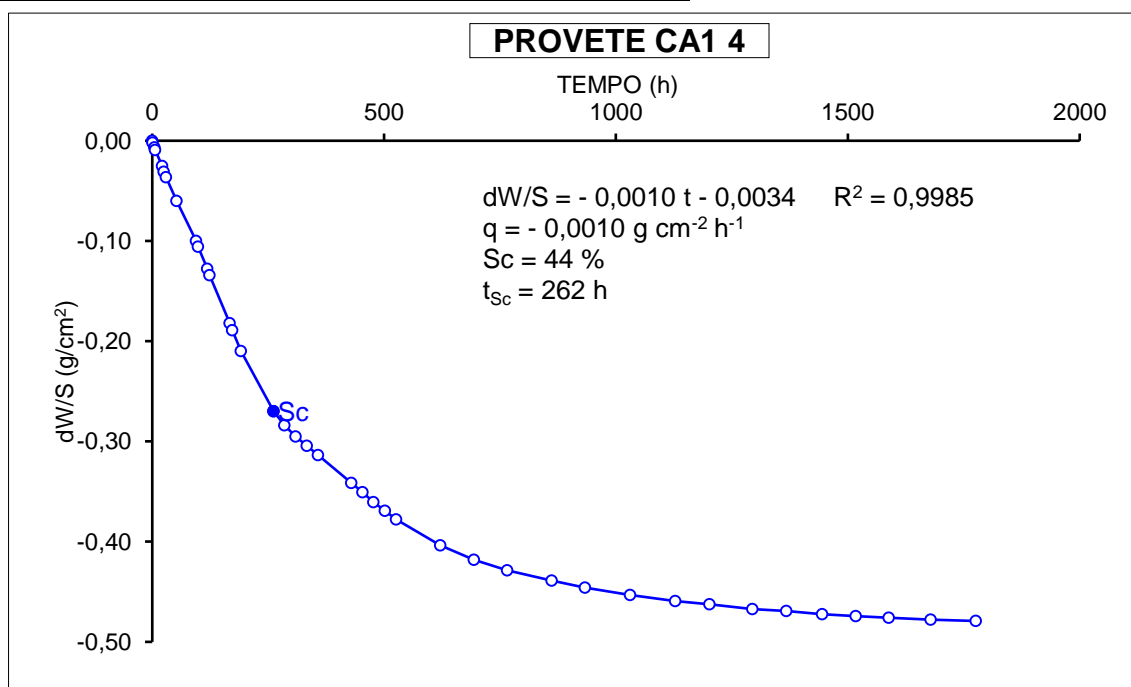


Anexo 4 - Ensaio de evaporação – Provete CA1 4

| PROVETE CA1 4 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 11 | 3 | 5 | 2018 | 195,26 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 12 | 4 | 3 | 5 | 2018 | 195,23 | 53 | 0,88 | -0,0019 |
| 15 | 52 | 3 | 5 | 2018 | 195,15 | 281 | 4,68 | -0,0068 |
| 17 | 15 | 3 | 5 | 2018 | 195,11 | 364 | 6,07 | -0,0093 |
| 8 | 58 | 4 | 5 | 2018 | 194,85 | 1307 | 21,78 | -0,0253 |
| 12 | 10 | 4 | 5 | 2018 | 194,76 | 1499 | 24,98 | -0,0309 |
| 17 | 9 | 4 | 5 | 2018 | 194,67 | 1798 | 29,97 | -0,0364 |
| 15 | 58 | 5 | 5 | 2018 | 194,29 | 3167 | 52,78 | -0,0599 |
| 10 | 1 | 7 | 5 | 2018 | 193,64 | 5690 | 94,83 | -0,1000 |
| 13 | 56 | 7 | 5 | 2018 | 193,55 | 5925 | 98,75 | -0,1056 |
| 10 | 3 | 8 | 5 | 2018 | 193,19 | 7132 | 118,87 | -0,1278 |
| 14 | 55 | 8 | 5 | 2018 | 193,09 | 7424 | 123,73 | -0,1340 |
| 10 | 38 | 10 | 5 | 2018 | 192,31 | 10047 | 167,45 | -0,1822 |
| 15 | 52 | 10 | 5 | 2018 | 192,20 | 10361 | 172,68 | -0,1889 |
| 10 | 33 | 11 | 5 | 2018 | 191,86 | 11482 | 191,37 | -0,2099 |
| 8 | 43 | 14 | 5 | 2018 | 190,89 | 15692 | 261,53 | -0,2698 |
| 8 | 41 | 15 | 5 | 2018 | 190,66 | 17130 | 285,50 | -0,2840 |
| 8 | 43 | 16 | 5 | 2018 | 190,48 | 18572 | 309,53 | -0,2951 |
| 8 | 36 | 17 | 5 | 2018 | 190,33 | 20005 | 333,42 | -0,3044 |
| 8 | 38 | 18 | 5 | 2018 | 190,18 | 21447 | 357,45 | -0,3137 |
| 8 | 38 | 21 | 5 | 2018 | 189,73 | 25767 | 429,45 | -0,3415 |
| 8 | 38 | 22 | 5 | 2018 | 189,58 | 27207 | 453,45 | -0,3507 |
| 8 | 36 | 23 | 5 | 2018 | 189,42 | 28645 | 477,42 | -0,3606 |
| 8 | 51 | 24 | 5 | 2018 | 189,28 | 30100 | 501,67 | -0,3692 |
| 9 | 16 | 25 | 5 | 2018 | 189,14 | 31565 | 526,08 | -0,3779 |
| 8 | 42 | 29 | 5 | 2018 | 188,72 | 37291 | 621,52 | -0,4038 |
| 8 | 42 | 1 | 6 | 2018 | 188,49 | 41611 | 693,52 | -0,4180 |
| 8 | 45 | 4 | 6 | 2018 | 188,32 | 45934 | 765,57 | -0,4285 |
| 9 | 5 | 8 | 6 | 2018 | 188,15 | 51714 | 861,90 | -0,4390 |
| 8 | 37 | 11 | 6 | 2018 | 188,04 | 56006 | 933,43 | -0,4458 |
| 10 | 12 | 15 | 6 | 2018 | 187,92 | 61861 | 1031,02 | -0,4532 |
| 11 | 1 | 19 | 6 | 2018 | 187,82 | 67670 | 1127,83 | -0,4594 |
| 12 | 48 | 22 | 6 | 2018 | 187,77 | 72097 | 1201,62 | -0,4625 |
| 9 | 28 | 26 | 6 | 2018 | 187,69 | 77657 | 1294,28 | -0,4674 |
| 10 | 43 | 29 | 6 | 2018 | 187,66 | 82052 | 1367,53 | -0,4693 |
| 15 | 45 | 3 | 7 | 2018 | 187,61 | 86674 | 1444,57 | -0,4724 |
| 16 | 36 | 6 | 7 | 2018 | 187,58 | 91045 | 1517,42 | -0,4742 |
| 15 | 39 | 9 | 7 | 2018 | 187,55 | 95308 | 1588,47 | -0,4761 |
| 10 | 8 | 13 | 7 | 2018 | 187,52 | 100737 | 1678,95 | -0,4779 |
| 11 | 19 | 16 | 7 | 2018 | 187,50 | 106568 | 1776,13 | -0,4791 |
| 10 | 15 | 19 | 7 | 2018 | 187,48 | 110824 | 1847,07 | -0,4804 |
| 10 | 31 | 23 | 7 | 2018 | 187,47 | 116600 | 1943,33 | -0,4810 |

Dados do provete CA1 4

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 195,26 |
| Secção (cm ²) | 16,20 |
| Altura (cm) | 6,09 |
| Saturação crítica (%) | 44 |

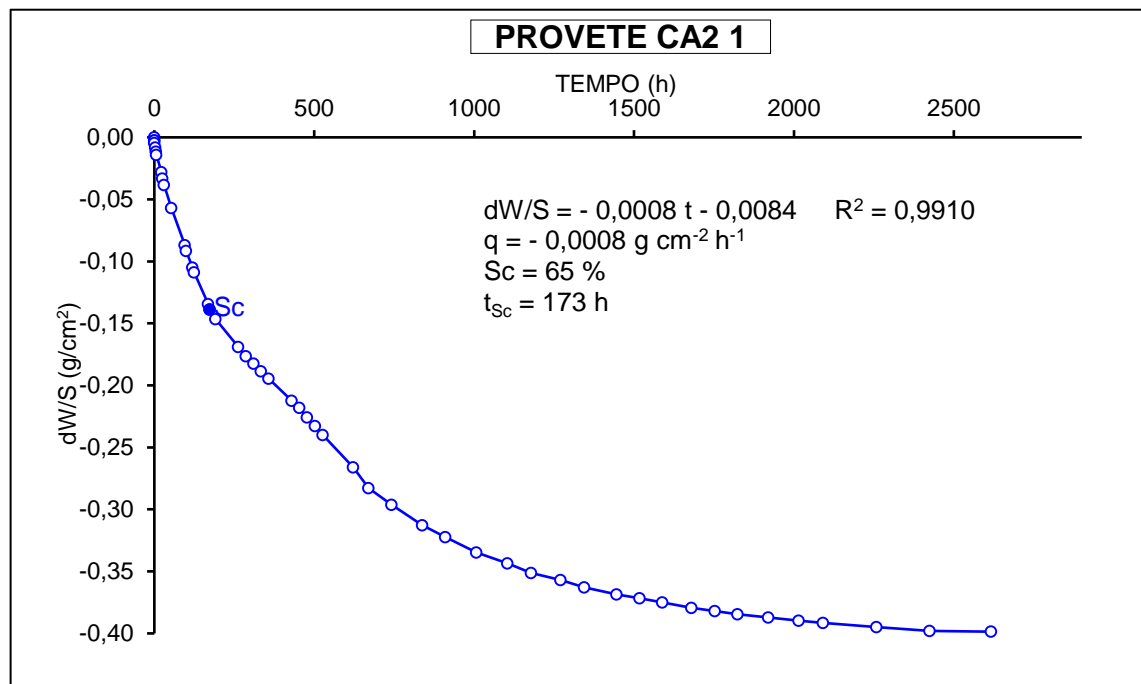


Anexo 5 - Ensaio de evaporação – Provete CA2 1

| PROVETE CA2 1 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 20 | 3 | 5 | 2018 | 192,09 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 35 | 3 | 5 | 2018 | 192,05 | 15 | 0,25 | -0,0026 |
| 10 | 39 | 3 | 5 | 2018 | 192,05 | 19 | 0,32 | -0,0026 |
| 11 | 8 | 3 | 5 | 2018 | 192,02 | 48 | 0,80 | -0,0045 |
| 13 | 26 | 3 | 5 | 2018 | 191,96 | 186 | 3,10 | -0,0083 |
| 15 | 45 | 3 | 5 | 2018 | 191,91 | 325 | 5,42 | -0,0115 |
| 17 | 10 | 3 | 5 | 2018 | 191,87 | 410 | 6,83 | -0,0141 |
| 8 | 50 | 4 | 5 | 2018 | 191,65 | 1350 | 22,50 | -0,0282 |
| 12 | 2 | 4 | 5 | 2018 | 191,57 | 1542 | 25,70 | -0,0333 |
| 17 | 2 | 4 | 5 | 2018 | 191,49 | 1842 | 30,70 | -0,0384 |
| 15 | 51 | 5 | 5 | 2018 | 191,20 | 3211 | 53,52 | -0,0569 |
| 9 | 51 | 7 | 5 | 2018 | 190,73 | 5731 | 95,52 | -0,0870 |
| 13 | 48 | 7 | 5 | 2018 | 190,66 | 5968 | 99,47 | -0,0915 |
| 9 | 54 | 8 | 5 | 2018 | 190,45 | 7174 | 119,57 | -0,1049 |
| 14 | 47 | 8 | 5 | 2018 | 190,39 | 7467 | 124,45 | -0,1088 |
| 10 | 28 | 10 | 5 | 2018 | 189,99 | 10088 | 168,13 | -0,1344 |
| 15 | 46 | 10 | 5 | 2018 | 189,92 | 10406 | 173,43 | -0,1388 |
| 10 | 25 | 11 | 5 | 2018 | 189,80 | 11525 | 192,08 | -0,1465 |
| 8 | 34 | 14 | 5 | 2018 | 189,45 | 15734 | 262,23 | -0,1689 |
| 8 | 33 | 15 | 5 | 2018 | 189,33 | 17173 | 286,22 | -0,1766 |
| 8 | 36 | 16 | 5 | 2018 | 189,24 | 18616 | 310,27 | -0,1823 |
| 8 | 29 | 17 | 5 | 2018 | 189,14 | 20049 | 334,15 | -0,1887 |
| 8 | 31 | 18 | 5 | 2018 | 189,05 | 21491 | 358,18 | -0,1945 |
| 8 | 30 | 21 | 5 | 2018 | 188,77 | 25810 | 430,17 | -0,2124 |
| 8 | 30 | 22 | 5 | 2018 | 188,68 | 27250 | 454,17 | -0,2182 |
| 8 | 29 | 23 | 5 | 2018 | 188,56 | 28689 | 478,15 | -0,2259 |
| 8 | 45 | 24 | 5 | 2018 | 188,45 | 30145 | 502,42 | -0,2329 |
| 9 | 8 | 25 | 5 | 2018 | 188,34 | 31608 | 526,80 | -0,2399 |
| 8 | 36 | 29 | 5 | 2018 | 187,93 | 37336 | 622,27 | -0,2662 |
| 8 | 34 | 1 | 6 | 2018 | 187,67 | 40214 | 670,23 | -0,2828 |
| 8 | 39 | 4 | 6 | 2018 | 187,46 | 44539 | 742,32 | -0,2962 |
| 8 | 50 | 8 | 6 | 2018 | 187,20 | 50310 | 838,50 | -0,3129 |
| 8 | 29 | 11 | 6 | 2018 | 187,05 | 54609 | 910,15 | -0,3225 |
| 10 | 5 | 15 | 6 | 2018 | 186,86 | 60465 | 1007,75 | -0,3346 |
| 10 | 56 | 19 | 6 | 2018 | 186,72 | 66276 | 1104,60 | -0,3436 |
| 12 | 43 | 22 | 6 | 2018 | 186,60 | 70703 | 1178,38 | -0,3513 |
| 9 | 22 | 26 | 6 | 2018 | 186,51 | 76262 | 1271,03 | -0,3570 |
| 10 | 36 | 29 | 6 | 2018 | 186,42 | 80656 | 1344,27 | -0,3628 |
| 15 | 40 | 3 | 7 | 2018 | 186,33 | 86720 | 1445,33 | -0,3685 |
| 16 | 30 | 6 | 7 | 2018 | 186,28 | 91090 | 1518,17 | -0,3717 |
| 15 | 34 | 9 | 7 | 2018 | 186,23 | 95354 | 1589,23 | -0,3749 |
| 10 | 2 | 13 | 7 | 2018 | 186,16 | 100782 | 1679,70 | -0,3794 |
| 11 | 13 | 16 | 7 | 2018 | 186,12 | 105173 | 1752,88 | -0,3820 |
| 10 | 10 | 19 | 7 | 2018 | 186,08 | 109430 | 1823,83 | -0,3845 |
| 10 | 26 | 23 | 7 | 2018 | 186,04 | 115206 | 1920,10 | -0,3871 |
| 9 | 23 | 27 | 7 | 2018 | 186,00 | 120903 | 2015,05 | -0,3896 |
| 13 | 53 | 30 | 7 | 2018 | 185,97 | 125493 | 2091,55 | -0,3916 |
| 12 | 40 | 6 | 8 | 2018 | 185,92 | 135500 | 2258,33 | -0,3948 |
| 10 | 40 | 13 | 8 | 2018 | 185,87 | 145460 | 2424,33 | -0,3980 |
| 10 | 46 | 20 | 8 | 2018 | 185,86 | 156986 | 2616,43 | -0,3986 |

Dados do provete CA2 1

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 192,09 |
| Secção (cm ²) | 15,63 |
| Altura (cm) | 6,12 |
| Saturação crítica (%) | 65 |

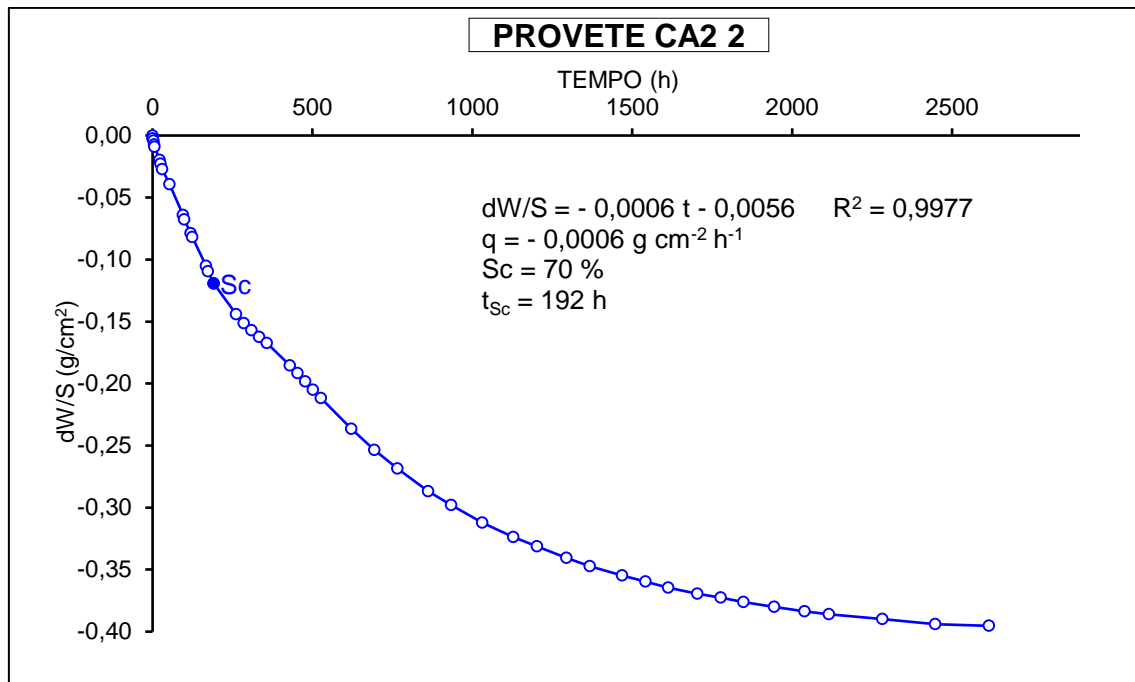


Anexo 6 - Ensaio de evaporação – Provete CA2 2

| PROVETE CA2 2 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 39 | 3 | 5 | 2018 | 203,79 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 8 | 3 | 5 | 2018 | 203,75 | 29 | 0,48 | -0,0025 |
| 13 | 26 | 3 | 5 | 2018 | 203,72 | 167 | 2,78 | -0,0043 |
| 15 | 45 | 3 | 5 | 2018 | 203,67 | 306 | 5,10 | -0,0074 |
| 17 | 10 | 3 | 5 | 2018 | 203,64 | 391 | 6,52 | -0,0092 |
| 8 | 51 | 4 | 5 | 2018 | 203,47 | 1332 | 22,20 | -0,0197 |
| 12 | 2 | 4 | 5 | 2018 | 203,42 | 1523 | 25,38 | -0,0228 |
| 17 | 3 | 4 | 5 | 2018 | 203,35 | 1824 | 30,40 | -0,0271 |
| 15 | 51 | 5 | 5 | 2018 | 203,15 | 3192 | 53,20 | -0,0394 |
| 9 | 51 | 7 | 5 | 2018 | 202,75 | 5712 | 95,20 | -0,0640 |
| 13 | 49 | 7 | 5 | 2018 | 202,69 | 5950 | 99,17 | -0,0677 |
| 9 | 55 | 8 | 5 | 2018 | 202,51 | 7156 | 119,27 | -0,0788 |
| 14 | 47 | 8 | 5 | 2018 | 202,46 | 7448 | 124,13 | -0,0819 |
| 10 | 28 | 10 | 5 | 2018 | 202,08 | 10069 | 167,82 | -0,1053 |
| 15 | 46 | 10 | 5 | 2018 | 202,01 | 10387 | 173,12 | -0,1096 |
| 10 | 25 | 11 | 5 | 2018 | 201,85 | 11506 | 191,77 | -0,1195 |
| 8 | 34 | 14 | 5 | 2018 | 201,45 | 15715 | 261,92 | -0,1441 |
| 8 | 33 | 15 | 5 | 2018 | 201,33 | 17154 | 285,90 | -0,1515 |
| 8 | 36 | 16 | 5 | 2018 | 201,24 | 18597 | 309,95 | -0,1570 |
| 8 | 29 | 17 | 5 | 2018 | 201,15 | 20030 | 333,83 | -0,1626 |
| 8 | 31 | 18 | 5 | 2018 | 201,07 | 21472 | 357,87 | -0,1675 |
| 8 | 30 | 21 | 5 | 2018 | 200,78 | 25791 | 429,85 | -0,1854 |
| 8 | 30 | 22 | 5 | 2018 | 200,68 | 27231 | 453,85 | -0,1915 |
| 8 | 30 | 23 | 5 | 2018 | 200,57 | 28671 | 477,85 | -0,1983 |
| 8 | 45 | 24 | 5 | 2018 | 200,46 | 30126 | 502,10 | -0,2051 |
| 9 | 9 | 25 | 5 | 2018 | 200,35 | 31590 | 526,50 | -0,2118 |
| 8 | 36 | 29 | 5 | 2018 | 199,95 | 37317 | 621,95 | -0,2365 |
| 8 | 35 | 1 | 6 | 2018 | 199,67 | 41636 | 693,93 | -0,2537 |
| 8 | 39 | 4 | 6 | 2018 | 199,43 | 45960 | 766,00 | -0,2685 |
| 8 | 51 | 8 | 6 | 2018 | 199,13 | 51732 | 862,20 | -0,2870 |
| 8 | 29 | 11 | 6 | 2018 | 198,95 | 56030 | 933,83 | -0,2981 |
| 10 | 5 | 15 | 6 | 2018 | 198,72 | 61886 | 1031,43 | -0,3122 |
| 10 | 56 | 19 | 6 | 2018 | 198,53 | 67697 | 1128,28 | -0,3239 |
| 12 | 43 | 22 | 6 | 2018 | 198,41 | 72124 | 1202,07 | -0,3313 |
| 9 | 22 | 26 | 6 | 2018 | 198,26 | 77683 | 1294,72 | -0,3406 |
| 10 | 37 | 29 | 6 | 2018 | 198,15 | 82078 | 1367,97 | -0,3473 |
| 15 | 40 | 3 | 7 | 2018 | 198,03 | 88141 | 1469,02 | -0,3547 |
| 16 | 31 | 6 | 7 | 2018 | 197,95 | 92512 | 1541,87 | -0,3596 |
| 15 | 34 | 9 | 7 | 2018 | 197,87 | 96775 | 1612,92 | -0,3646 |
| 10 | 3 | 13 | 7 | 2018 | 197,79 | 102204 | 1703,40 | -0,3695 |
| 11 | 14 | 16 | 7 | 2018 | 197,74 | 106595 | 1776,58 | -0,3726 |
| 10 | 10 | 19 | 7 | 2018 | 197,68 | 110851 | 1847,52 | -0,3763 |
| 10 | 26 | 23 | 7 | 2018 | 197,62 | 116627 | 1943,78 | -0,3800 |
| 9 | 24 | 27 | 7 | 2018 | 197,56 | 122325 | 2038,75 | -0,3837 |
| 13 | 54 | 30 | 7 | 2018 | 197,52 | 126915 | 2115,25 | -0,3861 |
| 12 | 41 | 6 | 8 | 2018 | 197,46 | 136922 | 2282,03 | -0,3898 |
| 10 | 40 | 13 | 8 | 2018 | 197,39 | 146881 | 2448,02 | -0,3941 |
| 10 | 47 | 20 | 8 | 2018 | 197,37 | 156968 | 2616,13 | -0,3954 |

Dados do provete CA2 2

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 203,79 |
| Secção (cm²) | 16,24 |
| Altura (cm) | 6,15 |
| Saturação crítica (%) | 70 |

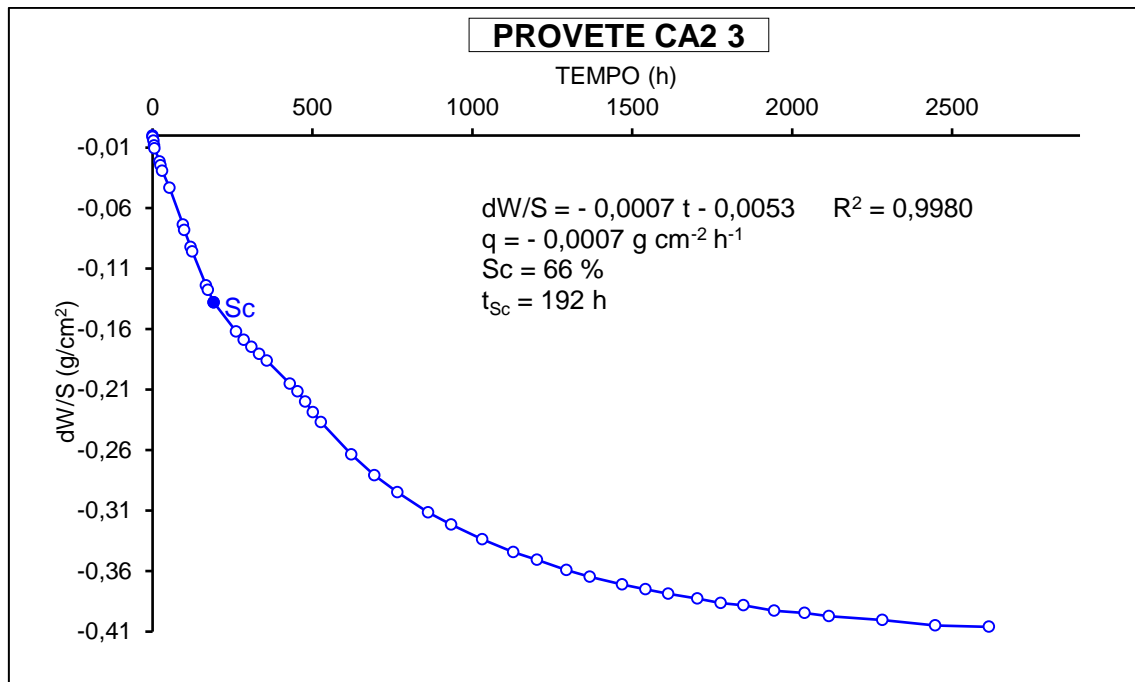


Anexo 7 - Ensaio de evaporação – Provete CA2 3

| PROVETE CA2 3 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 41 | 3 | 5 | 2018 | 194,27 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 8 | 3 | 5 | 2018 | 194,25 | 27 | 0,45 | -0,0013 |
| 13 | 26 | 3 | 5 | 2018 | 194,20 | 165 | 2,75 | -0,0044 |
| 15 | 45 | 3 | 5 | 2018 | 194,14 | 304 | 5,07 | -0,0083 |
| 17 | 10 | 3 | 5 | 2018 | 194,10 | 389 | 6,48 | -0,0108 |
| 8 | 51 | 4 | 5 | 2018 | 193,93 | 1330 | 22,17 | -0,0216 |
| 12 | 3 | 4 | 5 | 2018 | 193,88 | 1522 | 25,37 | -0,0248 |
| 17 | 3 | 4 | 5 | 2018 | 193,81 | 1822 | 30,37 | -0,0292 |
| 15 | 51 | 5 | 5 | 2018 | 193,59 | 3190 | 53,17 | -0,0432 |
| 9 | 52 | 7 | 5 | 2018 | 193,11 | 5711 | 95,18 | -0,0737 |
| 13 | 49 | 7 | 5 | 2018 | 193,04 | 5948 | 99,13 | -0,0782 |
| 9 | 55 | 8 | 5 | 2018 | 192,82 | 7154 | 119,23 | -0,0922 |
| 14 | 48 | 8 | 5 | 2018 | 192,76 | 7447 | 124,12 | -0,0960 |
| 10 | 29 | 10 | 5 | 2018 | 192,32 | 10068 | 167,80 | -0,1239 |
| 15 | 47 | 10 | 5 | 2018 | 192,26 | 10386 | 173,10 | -0,1277 |
| 10 | 26 | 11 | 5 | 2018 | 192,10 | 11505 | 191,75 | -0,1379 |
| 8 | 35 | 14 | 5 | 2018 | 191,72 | 15714 | 261,90 | -0,1621 |
| 8 | 34 | 15 | 5 | 2018 | 191,61 | 17153 | 285,88 | -0,1690 |
| 8 | 36 | 16 | 5 | 2018 | 191,52 | 18595 | 309,92 | -0,1748 |
| 8 | 30 | 17 | 5 | 2018 | 191,43 | 20029 | 333,82 | -0,1805 |
| 8 | 32 | 18 | 5 | 2018 | 191,34 | 21471 | 357,85 | -0,1862 |
| 8 | 31 | 21 | 5 | 2018 | 191,04 | 25790 | 429,83 | -0,2053 |
| 8 | 32 | 22 | 5 | 2018 | 190,94 | 27231 | 453,85 | -0,2116 |
| 8 | 30 | 23 | 5 | 2018 | 190,81 | 28669 | 477,82 | -0,2199 |
| 8 | 45 | 24 | 5 | 2018 | 190,67 | 30124 | 502,07 | -0,2288 |
| 9 | 9 | 25 | 5 | 2018 | 190,54 | 31588 | 526,47 | -0,2370 |
| 8 | 37 | 29 | 5 | 2018 | 190,12 | 37316 | 621,93 | -0,2637 |
| 8 | 35 | 1 | 6 | 2018 | 189,85 | 41634 | 693,90 | -0,2809 |
| 8 | 39 | 4 | 6 | 2018 | 189,63 | 45958 | 765,97 | -0,2949 |
| 8 | 51 | 8 | 6 | 2018 | 189,37 | 51730 | 862,17 | -0,3114 |
| 8 | 30 | 11 | 6 | 2018 | 189,21 | 56029 | 933,82 | -0,3216 |
| 10 | 6 | 15 | 6 | 2018 | 189,02 | 61885 | 1031,42 | -0,3336 |
| 10 | 56 | 19 | 6 | 2018 | 188,85 | 67695 | 1128,25 | -0,3445 |
| 12 | 44 | 22 | 6 | 2018 | 188,75 | 72123 | 1202,05 | -0,3508 |
| 9 | 23 | 26 | 6 | 2018 | 188,62 | 77682 | 1294,70 | -0,3591 |
| 10 | 37 | 29 | 6 | 2018 | 188,53 | 82076 | 1367,93 | -0,3648 |
| 15 | 41 | 3 | 7 | 2018 | 188,43 | 88140 | 1469,00 | -0,3711 |
| 16 | 31 | 6 | 7 | 2018 | 188,37 | 92510 | 1541,83 | -0,3750 |
| 15 | 34 | 9 | 7 | 2018 | 188,31 | 96773 | 1612,88 | -0,3788 |
| 10 | 3 | 13 | 7 | 2018 | 188,25 | 102202 | 1703,37 | -0,3826 |
| 11 | 14 | 16 | 7 | 2018 | 188,19 | 106593 | 1776,55 | -0,3864 |
| 10 | 10 | 19 | 7 | 2018 | 188,16 | 110849 | 1847,48 | -0,3883 |
| 10 | 26 | 23 | 7 | 2018 | 188,09 | 116625 | 1943,75 | -0,3928 |
| 9 | 24 | 27 | 7 | 2018 | 188,06 | 122323 | 2038,72 | -0,3947 |
| 13 | 54 | 30 | 7 | 2018 | 188,02 | 126913 | 2115,22 | -0,3972 |
| 12 | 41 | 6 | 8 | 2018 | 187,97 | 136920 | 2282,00 | -0,4004 |
| 10 | 40 | 13 | 8 | 2018 | 187,90 | 146879 | 2447,98 | -0,4048 |
| 10 | 47 | 20 | 8 | 2018 | 187,88 | 156966 | 2616,10 | -0,4061 |

Dados do provete CA2 3

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 194,27 |
| Secção (cm²) | 15,74 |
| Altura (cm) | 6,13 |
| Saturação crítica (%) | 66 |

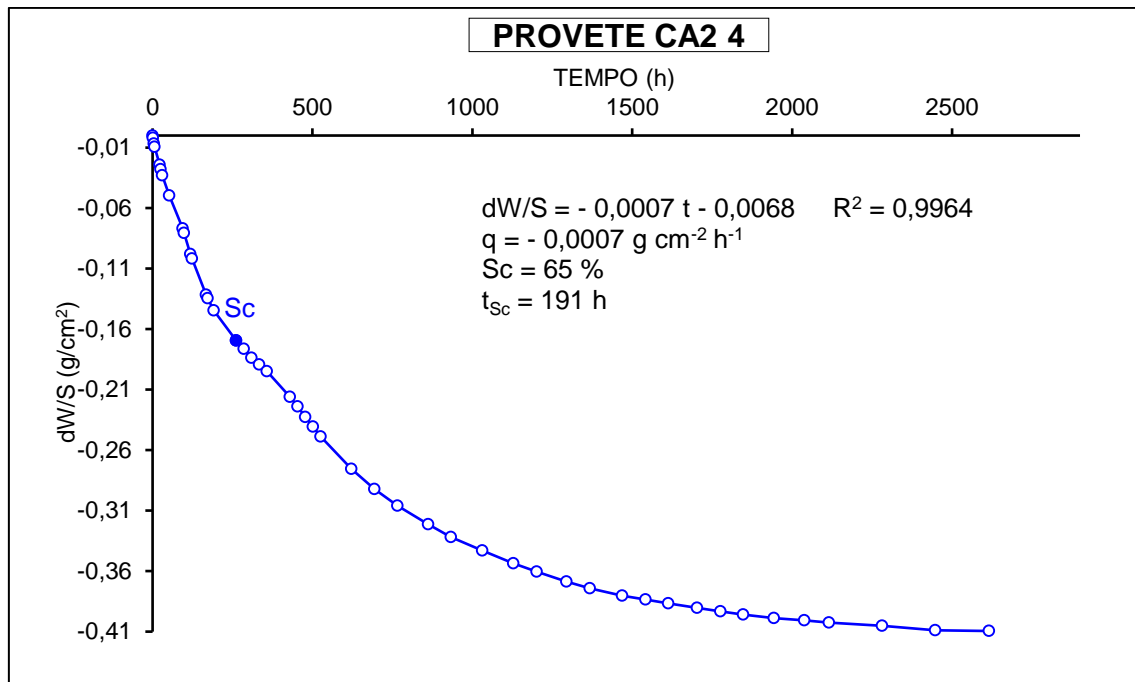


Anexo 8 - Ensaio de evaporação – Provete CA2 4

| PROVETE CA2 4 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 13 | 3 | 5 | 2018 | 201,88 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 12 | 4 | 3 | 5 | 2018 | 201,85 | 51 | 0,85 | -0,0019 |
| 15 | 52 | 3 | 5 | 2018 | 201,77 | 279 | 4,65 | -0,0068 |
| 17 | 16 | 3 | 5 | 2018 | 201,73 | 363 | 6,05 | -0,0093 |
| 8 | 59 | 4 | 5 | 2018 | 201,49 | 1306 | 21,77 | -0,0242 |
| 12 | 11 | 4 | 5 | 2018 | 201,43 | 1498 | 24,97 | -0,0279 |
| 17 | 9 | 4 | 5 | 2018 | 201,35 | 1796 | 29,93 | -0,0329 |
| 15 | 58 | 5 | 5 | 2018 | 201,08 | 3165 | 52,75 | -0,0496 |
| 10 | 2 | 7 | 5 | 2018 | 200,64 | 5689 | 94,82 | -0,0769 |
| 13 | 57 | 7 | 5 | 2018 | 200,58 | 5924 | 98,73 | -0,0807 |
| 10 | 3 | 8 | 5 | 2018 | 200,30 | 7130 | 118,83 | -0,0980 |
| 14 | 56 | 8 | 5 | 2018 | 200,24 | 7423 | 123,72 | -0,1018 |
| 10 | 39 | 10 | 5 | 2018 | 199,76 | 10046 | 167,43 | -0,1315 |
| 15 | 53 | 10 | 5 | 2018 | 199,71 | 10360 | 172,67 | -0,1346 |
| 10 | 34 | 11 | 5 | 2018 | 199,55 | 11481 | 191,35 | -0,1446 |
| 8 | 43 | 14 | 5 | 2018 | 199,15 | 15690 | 261,50 | -0,1694 |
| 8 | 42 | 15 | 5 | 2018 | 199,04 | 17129 | 285,48 | -0,1762 |
| 8 | 43 | 16 | 5 | 2018 | 198,92 | 18570 | 309,50 | -0,1837 |
| 8 | 37 | 17 | 5 | 2018 | 198,83 | 20004 | 333,40 | -0,1892 |
| 8 | 39 | 18 | 5 | 2018 | 198,74 | 21446 | 357,43 | -0,1948 |
| 8 | 38 | 21 | 5 | 2018 | 198,40 | 25765 | 429,42 | -0,2159 |
| 8 | 39 | 22 | 5 | 2018 | 198,27 | 27206 | 453,43 | -0,2240 |
| 8 | 37 | 23 | 5 | 2018 | 198,13 | 28644 | 477,40 | -0,2327 |
| 8 | 51 | 24 | 5 | 2018 | 198,00 | 30098 | 501,63 | -0,2407 |
| 9 | 16 | 25 | 5 | 2018 | 197,87 | 31563 | 526,05 | -0,2488 |
| 8 | 43 | 29 | 5 | 2018 | 197,44 | 37290 | 621,50 | -0,2755 |
| 8 | 49 | 1 | 6 | 2018 | 197,17 | 41616 | 693,60 | -0,2922 |
| 8 | 46 | 4 | 6 | 2018 | 196,95 | 45933 | 765,55 | -0,3059 |
| 9 | 5 | 8 | 6 | 2018 | 196,70 | 51712 | 861,87 | -0,3214 |
| 8 | 37 | 11 | 6 | 2018 | 196,53 | 56004 | 933,40 | -0,3319 |
| 10 | 13 | 15 | 6 | 2018 | 196,35 | 61860 | 1031,00 | -0,3431 |
| 11 | 1 | 19 | 6 | 2018 | 196,18 | 67668 | 1127,80 | -0,3537 |
| 12 | 48 | 22 | 6 | 2018 | 196,07 | 72095 | 1201,58 | -0,3605 |
| 9 | 29 | 26 | 6 | 2018 | 195,94 | 77656 | 1294,27 | -0,3686 |
| 10 | 43 | 29 | 6 | 2018 | 195,85 | 82050 | 1367,50 | -0,3741 |
| 15 | 46 | 3 | 7 | 2018 | 195,75 | 88113 | 1468,55 | -0,3803 |
| 16 | 37 | 6 | 7 | 2018 | 195,70 | 92484 | 1541,40 | -0,3834 |
| 15 | 39 | 9 | 7 | 2018 | 195,65 | 96746 | 1612,43 | -0,3865 |
| 10 | 9 | 13 | 7 | 2018 | 195,59 | 102176 | 1702,93 | -0,3903 |
| 11 | 19 | 16 | 7 | 2018 | 195,54 | 106566 | 1776,10 | -0,3934 |
| 10 | 15 | 19 | 7 | 2018 | 195,50 | 110822 | 1847,03 | -0,3959 |
| 10 | 31 | 23 | 7 | 2018 | 195,45 | 116598 | 1943,30 | -0,3990 |
| 9 | 28 | 27 | 7 | 2018 | 195,42 | 122295 | 2038,25 | -0,4008 |
| 13 | 58 | 30 | 7 | 2018 | 195,39 | 126885 | 2114,75 | -0,4027 |
| 12 | 44 | 6 | 8 | 2018 | 195,35 | 136891 | 2281,52 | -0,4052 |
| 10 | 44 | 13 | 8 | 2018 | 195,29 | 146851 | 2447,52 | -0,4089 |
| 10 | 51 | 20 | 8 | 2018 | 195,28 | 156938 | 2615,63 | -0,4095 |

Dados do provete CA2 4

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 201,88 |
| Secção (cm²) | 16,12 |
| Altura (cm) | 6,15 |
| Saturação crítica (%) | 65 |

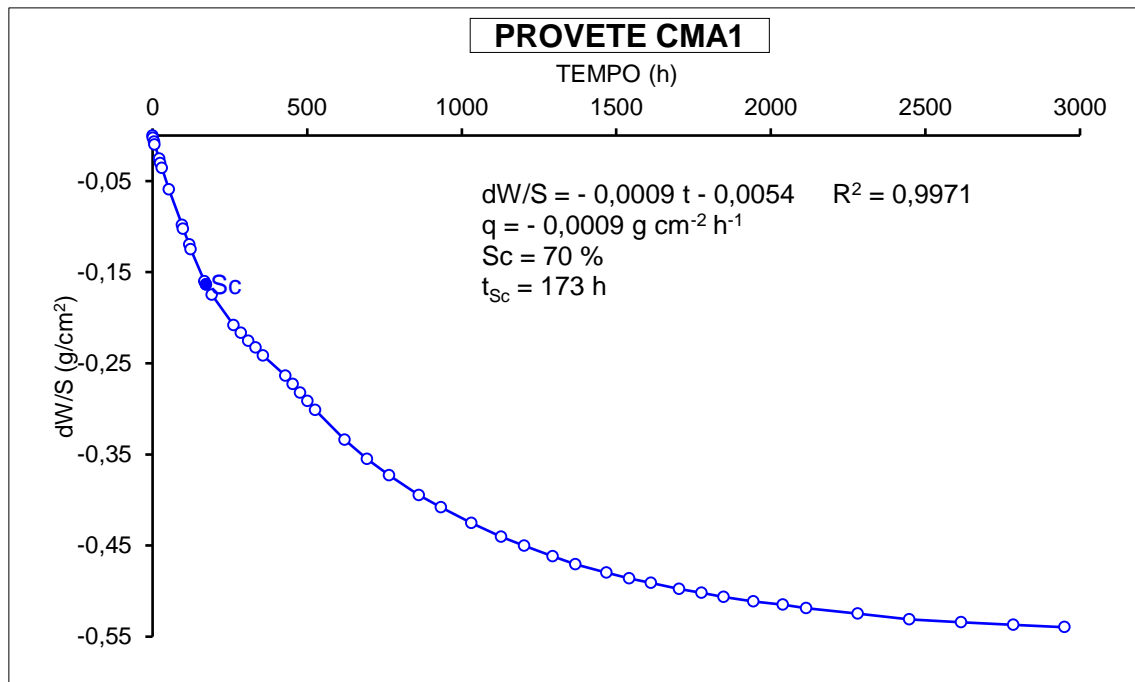


Anexo 9 - Ensaio de evaporação – Provete CMA 1

| PROVETE CMA1 | | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 53 | 3 | 5 | 2018 | 214,65 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 12 | 0 | 3 | 5 | 2018 | 214,61 | 67 | 1,12 | -0,0025 |
| 15 | 48 | 3 | 5 | 2018 | 214,54 | 295 | 4,92 | -0,0068 |
| 17 | 13 | 3 | 5 | 2018 | 214,49 | 380 | 6,33 | -0,0099 |
| 8 | 54 | 4 | 5 | 2018 | 214,24 | 1321 | 22,02 | -0,0253 |
| 12 | 7 | 4 | 5 | 2018 | 214,16 | 1514 | 25,23 | -0,0303 |
| 17 | 6 | 4 | 5 | 2018 | 214,07 | 1813 | 30,22 | -0,0358 |
| 15 | 55 | 5 | 5 | 2018 | 213,69 | 3182 | 53,03 | -0,0593 |
| 9 | 57 | 7 | 5 | 2018 | 213,06 | 5704 | 95,07 | -0,0982 |
| 13 | 52 | 7 | 5 | 2018 | 212,99 | 5939 | 98,98 | -0,1025 |
| 9 | 59 | 8 | 5 | 2018 | 212,71 | 7146 | 119,10 | -0,1198 |
| 14 | 51 | 8 | 5 | 2018 | 212,63 | 7438 | 123,97 | -0,1247 |
| 10 | 33 | 10 | 5 | 2018 | 212,06 | 10060 | 167,67 | -0,1599 |
| 15 | 49 | 10 | 5 | 2018 | 212,00 | 10376 | 172,93 | -0,1636 |
| 10 | 29 | 11 | 5 | 2018 | 211,82 | 11496 | 191,60 | -0,1747 |
| 8 | 38 | 14 | 5 | 2018 | 211,28 | 15705 | 261,75 | -0,2081 |
| 8 | 37 | 15 | 5 | 2018 | 211,14 | 17144 | 285,73 | -0,2167 |
| 8 | 39 | 16 | 5 | 2018 | 211,00 | 18586 | 309,77 | -0,2254 |
| 8 | 33 | 17 | 5 | 2018 | 210,88 | 20020 | 333,67 | -0,2328 |
| 8 | 35 | 18 | 5 | 2018 | 210,74 | 21462 | 357,70 | -0,2414 |
| 8 | 34 | 21 | 5 | 2018 | 210,38 | 25781 | 429,68 | -0,2637 |
| 8 | 35 | 22 | 5 | 2018 | 210,23 | 27222 | 453,70 | -0,2729 |
| 8 | 33 | 23 | 5 | 2018 | 210,08 | 28660 | 477,67 | -0,2822 |
| 8 | 48 | 24 | 5 | 2018 | 209,93 | 30115 | 501,92 | -0,2914 |
| 9 | 12 | 25 | 5 | 2018 | 209,77 | 31579 | 526,32 | -0,3013 |
| 8 | 39 | 29 | 5 | 2018 | 209,24 | 37306 | 621,77 | -0,3340 |
| 8 | 38 | 1 | 6 | 2018 | 208,90 | 41625 | 693,75 | -0,3550 |
| 8 | 42 | 4 | 6 | 2018 | 208,61 | 45949 | 765,82 | -0,3729 |
| 8 | 57 | 8 | 6 | 2018 | 208,26 | 51724 | 862,07 | -0,3946 |
| 8 | 33 | 11 | 6 | 2018 | 208,04 | 56020 | 933,67 | -0,4081 |
| 10 | 9 | 15 | 6 | 2018 | 207,76 | 61876 | 1031,27 | -0,4254 |
| 10 | 58 | 19 | 6 | 2018 | 207,52 | 67685 | 1128,08 | -0,4402 |
| 12 | 46 | 22 | 6 | 2018 | 207,36 | 72113 | 1201,88 | -0,4501 |
| 9 | 25 | 26 | 6 | 2018 | 207,17 | 77672 | 1294,53 | -0,4619 |
| 10 | 40 | 29 | 6 | 2018 | 207,03 | 82067 | 1367,78 | -0,4705 |
| 15 | 43 | 3 | 7 | 2018 | 206,88 | 88130 | 1468,83 | -0,4798 |
| 16 | 33 | 6 | 7 | 2018 | 206,78 | 92500 | 1541,67 | -0,4859 |
| 15 | 36 | 9 | 7 | 2018 | 206,70 | 96763 | 1612,72 | -0,4909 |
| 10 | 5 | 13 | 7 | 2018 | 206,59 | 102192 | 1703,20 | -0,4977 |
| 11 | 16 | 16 | 7 | 2018 | 206,52 | 106583 | 1776,38 | -0,5020 |
| 10 | 12 | 19 | 7 | 2018 | 206,45 | 110839 | 1847,32 | -0,5063 |
| 10 | 28 | 23 | 7 | 2018 | 206,37 | 116615 | 1943,58 | -0,5113 |
| 9 | 25 | 27 | 7 | 2018 | 206,31 | 122312 | 2038,53 | -0,5150 |
| 13 | 55 | 30 | 7 | 2018 | 206,25 | 126902 | 2115,03 | -0,5187 |
| 12 | 42 | 6 | 8 | 2018 | 206,15 | 136909 | 2281,82 | -0,5248 |
| 10 | 41 | 13 | 8 | 2018 | 206,05 | 146868 | 2447,80 | -0,5310 |
| 10 | 48 | 20 | 8 | 2018 | 206,00 | 156955 | 2615,92 | -0,5341 |
| 10 | 57 | 27 | 8 | 2018 | 205,95 | 167044 | 2784,07 | -0,5372 |
| 9 | 30 | 3 | 9 | 2018 | 205,91 | 177037 | 2950,62 | -0,5397 |

Dados do provete CMA1

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 214,65 |
| Secção (cm²) | 16,20 |
| Altura (cm) | 6,03 |
| Saturação crítica (%) | 70 |

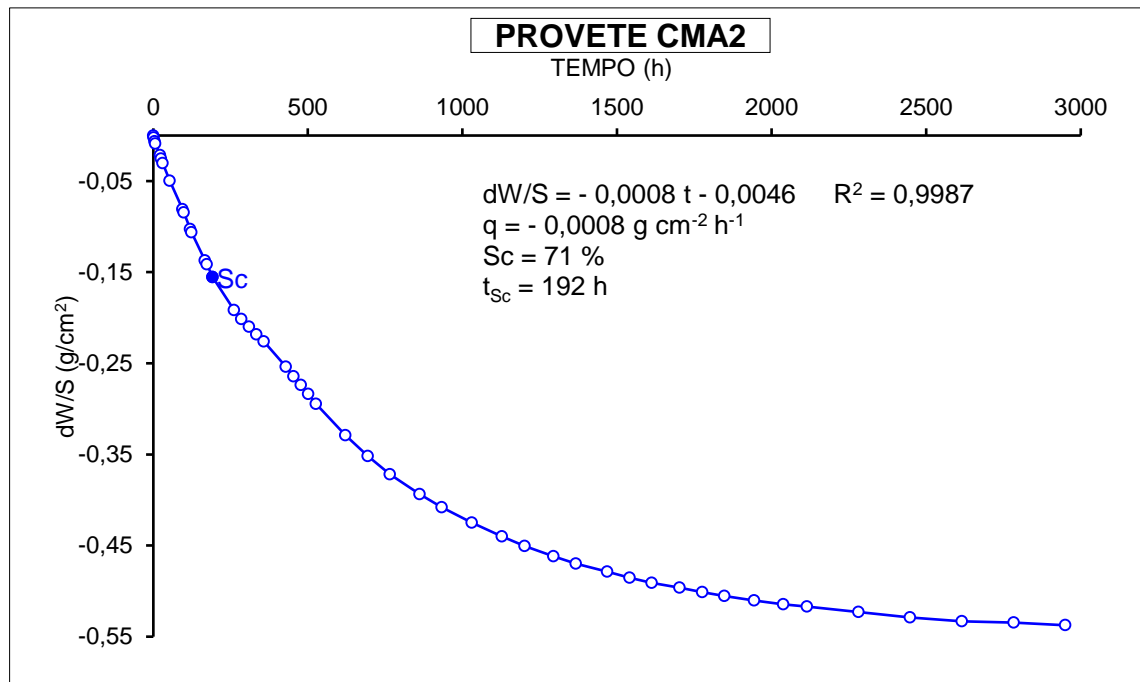


Anexo 10 - Ensaio de evaporação – Provete CMA 2

| PROVETE CMA2 | | | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|--|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S | |
| 10 | 55 | 3 | 5 | 2018 | 217,77 | 0 | 0,00 | 0,0000 | |
| 12 | 0 | 3 | 5 | 2018 | 217,73 | 65 | 1,08 | -0,0024 | |
| 15 | 49 | 3 | 5 | 2018 | 217,66 | 294 | 4,90 | -0,0067 | |
| 17 | 13 | 3 | 5 | 2018 | 217,62 | 378 | 6,30 | -0,0091 | |
| 8 | 55 | 4 | 5 | 2018 | 217,41 | 1320 | 22,00 | -0,0218 | |
| 12 | 7 | 4 | 5 | 2018 | 217,35 | 1512 | 25,20 | -0,0254 | |
| 17 | 6 | 4 | 5 | 2018 | 217,27 | 1811 | 30,18 | -0,0302 | |
| 15 | 55 | 5 | 5 | 2018 | 216,95 | 3180 | 53,00 | -0,0496 | |
| 9 | 57 | 7 | 5 | 2018 | 216,43 | 5702 | 95,03 | -0,0810 | |
| 13 | 53 | 7 | 5 | 2018 | 216,37 | 5938 | 98,97 | -0,0846 | |
| 9 | 59 | 8 | 5 | 2018 | 216,07 | 7144 | 119,07 | -0,1028 | |
| 14 | 52 | 8 | 5 | 2018 | 216,01 | 7437 | 123,95 | -0,1064 | |
| 10 | 34 | 10 | 5 | 2018 | 215,50 | 10059 | 167,65 | -0,1372 | |
| 15 | 49 | 10 | 5 | 2018 | 215,43 | 10374 | 172,90 | -0,1415 | |
| 10 | 29 | 11 | 5 | 2018 | 215,20 | 11494 | 191,57 | -0,1554 | |
| 8 | 39 | 14 | 5 | 2018 | 214,60 | 15704 | 261,73 | -0,1917 | |
| 8 | 38 | 15 | 5 | 2018 | 214,44 | 17143 | 285,72 | -0,2013 | |
| 8 | 40 | 16 | 5 | 2018 | 214,30 | 18585 | 309,75 | -0,2098 | |
| 8 | 33 | 17 | 5 | 2018 | 214,16 | 20018 | 333,63 | -0,2183 | |
| 8 | 35 | 18 | 5 | 2018 | 214,03 | 21460 | 357,67 | -0,2261 | |
| 8 | 34 | 21 | 5 | 2018 | 213,57 | 25779 | 429,65 | -0,2539 | |
| 8 | 35 | 22 | 5 | 2018 | 213,40 | 27220 | 453,67 | -0,2642 | |
| 8 | 33 | 23 | 5 | 2018 | 213,24 | 28658 | 477,63 | -0,2739 | |
| 8 | 48 | 24 | 5 | 2018 | 213,08 | 30113 | 501,88 | -0,2836 | |
| 9 | 13 | 25 | 5 | 2018 | 212,90 | 31578 | 526,30 | -0,2944 | |
| 8 | 40 | 29 | 5 | 2018 | 212,33 | 37305 | 621,75 | -0,3289 | |
| 8 | 39 | 1 | 6 | 2018 | 211,95 | 41624 | 693,73 | -0,3519 | |
| 8 | 42 | 4 | 6 | 2018 | 211,62 | 45947 | 765,78 | -0,3718 | |
| 8 | 58 | 8 | 6 | 2018 | 211,26 | 51723 | 862,05 | -0,3936 | |
| 8 | 33 | 11 | 6 | 2018 | 211,02 | 56018 | 933,63 | -0,4081 | |
| 10 | 9 | 15 | 6 | 2018 | 210,74 | 61874 | 1031,23 | -0,4250 | |
| 10 | 59 | 19 | 6 | 2018 | 210,49 | 67684 | 1128,07 | -0,4402 | |
| 12 | 46 | 22 | 6 | 2018 | 210,32 | 72111 | 1201,85 | -0,4504 | |
| 9 | 26 | 26 | 6 | 2018 | 210,13 | 77671 | 1294,52 | -0,4619 | |
| 10 | 40 | 29 | 6 | 2018 | 210,00 | 82065 | 1367,75 | -0,4698 | |
| 15 | 43 | 3 | 7 | 2018 | 209,85 | 88128 | 1468,80 | -0,4788 | |
| 16 | 34 | 6 | 7 | 2018 | 209,74 | 92499 | 1541,65 | -0,4855 | |
| 15 | 37 | 9 | 7 | 2018 | 209,65 | 96762 | 1612,70 | -0,4909 | |
| 10 | 6 | 13 | 7 | 2018 | 209,56 | 102191 | 1703,18 | -0,4964 | |
| 11 | 17 | 16 | 7 | 2018 | 209,48 | 106582 | 1776,37 | -0,5012 | |
| 10 | 13 | 19 | 7 | 2018 | 209,41 | 110838 | 1847,30 | -0,5055 | |
| 10 | 29 | 23 | 7 | 2018 | 209,33 | 116614 | 1943,57 | -0,5103 | |
| 9 | 25 | 27 | 7 | 2018 | 209,26 | 122310 | 2038,50 | -0,5145 | |
| 13 | 56 | 30 | 7 | 2018 | 209,22 | 126901 | 2115,02 | -0,5169 | |
| 12 | 42 | 6 | 8 | 2018 | 209,12 | 136907 | 2281,78 | -0,5230 | |
| 10 | 41 | 13 | 8 | 2018 | 209,02 | 146866 | 2447,77 | -0,5290 | |
| 10 | 48 | 20 | 8 | 2018 | 208,95 | 156953 | 2615,88 | -0,5333 | |
| 10 | 57 | 27 | 8 | 2018 | 208,93 | 167042 | 2784,03 | -0,5345 | |
| 9 | 31 | 3 | 9 | 2018 | 208,88 | 177036 | 2950,60 | -0,5375 | |

Dados do provete CMA2

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 217,77 |
| Secção (cm ²) | 16,54 |
| Altura (cm) | 6,19 |
| Saturação crítica (%) | 71 |

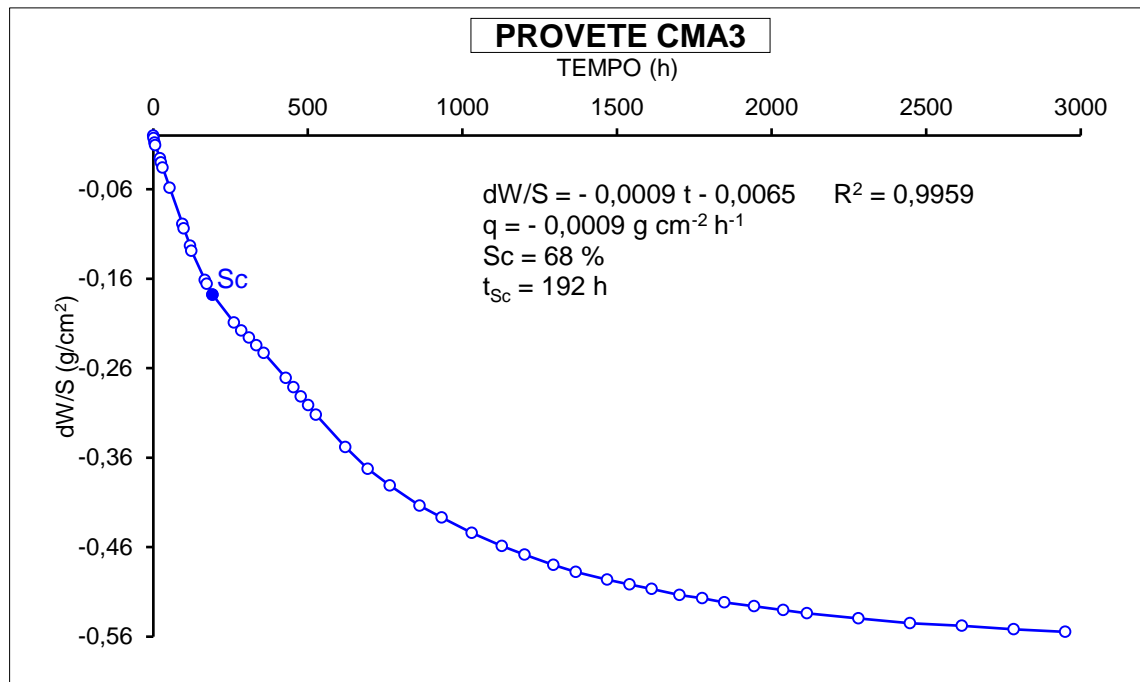


Anexo 11 - Ensaio de evaporação – Provete CMA 3

| PROVETE CMA3 | | | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|--|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S | |
| 10 | 56 | 3 | 5 | 2018 | 215,84 | 0 | 0,00 | 0,0000 | |
| 12 | 0 | 3 | 5 | 2018 | 215,79 | 64 | 1,07 | -0,0030 | |
| 15 | 49 | 3 | 5 | 2018 | 215,71 | 293 | 4,88 | -0,0079 | |
| 17 | 13 | 3 | 5 | 2018 | 215,66 | 377 | 6,28 | -0,0109 | |
| 8 | 55 | 4 | 5 | 2018 | 215,42 | 1319 | 21,98 | -0,0255 | |
| 12 | 8 | 4 | 5 | 2018 | 215,34 | 1512 | 25,20 | -0,0304 | |
| 17 | 7 | 4 | 5 | 2018 | 215,25 | 1811 | 30,18 | -0,0358 | |
| 15 | 56 | 5 | 5 | 2018 | 214,88 | 3180 | 53,00 | -0,0583 | |
| 9 | 58 | 7 | 5 | 2018 | 214,21 | 5702 | 95,03 | -0,0990 | |
| 13 | 53 | 7 | 5 | 2018 | 214,13 | 5937 | 98,95 | -0,1039 | |
| 10 | 0 | 8 | 5 | 2018 | 213,81 | 7144 | 119,07 | -0,1233 | |
| 14 | 52 | 8 | 5 | 2018 | 213,72 | 7436 | 123,93 | -0,1288 | |
| 10 | 34 | 10 | 5 | 2018 | 213,18 | 10058 | 167,63 | -0,1616 | |
| 15 | 50 | 10 | 5 | 2018 | 213,11 | 10374 | 172,90 | -0,1659 | |
| 10 | 30 | 11 | 5 | 2018 | 212,91 | 11494 | 191,57 | -0,1780 | |
| 8 | 39 | 14 | 5 | 2018 | 212,40 | 15703 | 261,72 | -0,2090 | |
| 8 | 38 | 15 | 5 | 2018 | 212,25 | 17142 | 285,70 | -0,2181 | |
| 8 | 40 | 16 | 5 | 2018 | 212,12 | 18584 | 309,73 | -0,2260 | |
| 8 | 34 | 17 | 5 | 2018 | 211,98 | 20018 | 333,63 | -0,2345 | |
| 8 | 35 | 18 | 5 | 2018 | 211,84 | 21459 | 357,65 | -0,2430 | |
| 8 | 35 | 21 | 5 | 2018 | 211,38 | 25779 | 429,65 | -0,2710 | |
| 8 | 36 | 22 | 5 | 2018 | 211,21 | 27220 | 453,67 | -0,2813 | |
| 8 | 33 | 23 | 5 | 2018 | 211,04 | 28657 | 477,62 | -0,2916 | |
| 8 | 49 | 24 | 5 | 2018 | 210,88 | 30113 | 501,88 | -0,3013 | |
| 9 | 13 | 25 | 5 | 2018 | 210,70 | 31577 | 526,28 | -0,3123 | |
| 8 | 40 | 29 | 5 | 2018 | 210,11 | 37304 | 621,73 | -0,3481 | |
| 8 | 39 | 1 | 6 | 2018 | 209,71 | 41623 | 693,72 | -0,3724 | |
| 8 | 43 | 4 | 6 | 2018 | 209,40 | 45947 | 765,78 | -0,3912 | |
| 8 | 58 | 8 | 6 | 2018 | 209,03 | 51722 | 862,03 | -0,4137 | |
| 8 | 34 | 11 | 6 | 2018 | 208,81 | 56018 | 933,63 | -0,4271 | |
| 10 | 9 | 15 | 6 | 2018 | 208,53 | 61873 | 1031,22 | -0,4441 | |
| 10 | 59 | 19 | 6 | 2018 | 208,29 | 67683 | 1128,05 | -0,4587 | |
| 12 | 46 | 22 | 6 | 2018 | 208,13 | 72110 | 1201,83 | -0,4684 | |
| 9 | 26 | 26 | 6 | 2018 | 207,94 | 77670 | 1294,50 | -0,4799 | |
| 10 | 41 | 29 | 6 | 2018 | 207,81 | 82065 | 1367,75 | -0,4878 | |
| 15 | 43 | 3 | 7 | 2018 | 207,67 | 88127 | 1468,78 | -0,4963 | |
| 16 | 34 | 6 | 7 | 2018 | 207,58 | 92498 | 1541,63 | -0,5018 | |
| 15 | 37 | 9 | 7 | 2018 | 207,50 | 96761 | 1612,68 | -0,5067 | |
| 10 | 6 | 13 | 7 | 2018 | 207,39 | 102190 | 1703,17 | -0,5134 | |
| 11 | 17 | 16 | 7 | 2018 | 207,33 | 106581 | 1776,35 | -0,5170 | |
| 10 | 13 | 19 | 7 | 2018 | 207,25 | 110837 | 1847,28 | -0,5219 | |
| 10 | 29 | 23 | 7 | 2018 | 207,18 | 116613 | 1943,55 | -0,5261 | |
| 9 | 26 | 27 | 7 | 2018 | 207,11 | 122310 | 2038,50 | -0,5304 | |
| 13 | 56 | 30 | 7 | 2018 | 207,05 | 126900 | 2115,00 | -0,5340 | |
| 12 | 42 | 6 | 8 | 2018 | 206,96 | 136906 | 2281,77 | -0,5395 | |
| 10 | 42 | 13 | 8 | 2018 | 206,87 | 146866 | 2447,77 | -0,5449 | |
| 10 | 49 | 20 | 8 | 2018 | 206,82 | 156953 | 2615,88 | -0,5480 | |
| 10 | 58 | 27 | 8 | 2018 | 206,76 | 167042 | 2784,03 | -0,5516 | |
| 9 | 31 | 3 | 9 | 2018 | 206,71 | 177035 | 2950,58 | -0,5547 | |

Dados do provete CMA3

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 215,84 |
| Secção (cm²) | 16,46 |
| Altura (cm) | 6,07 |
| Saturação crítica (%) | 68 |

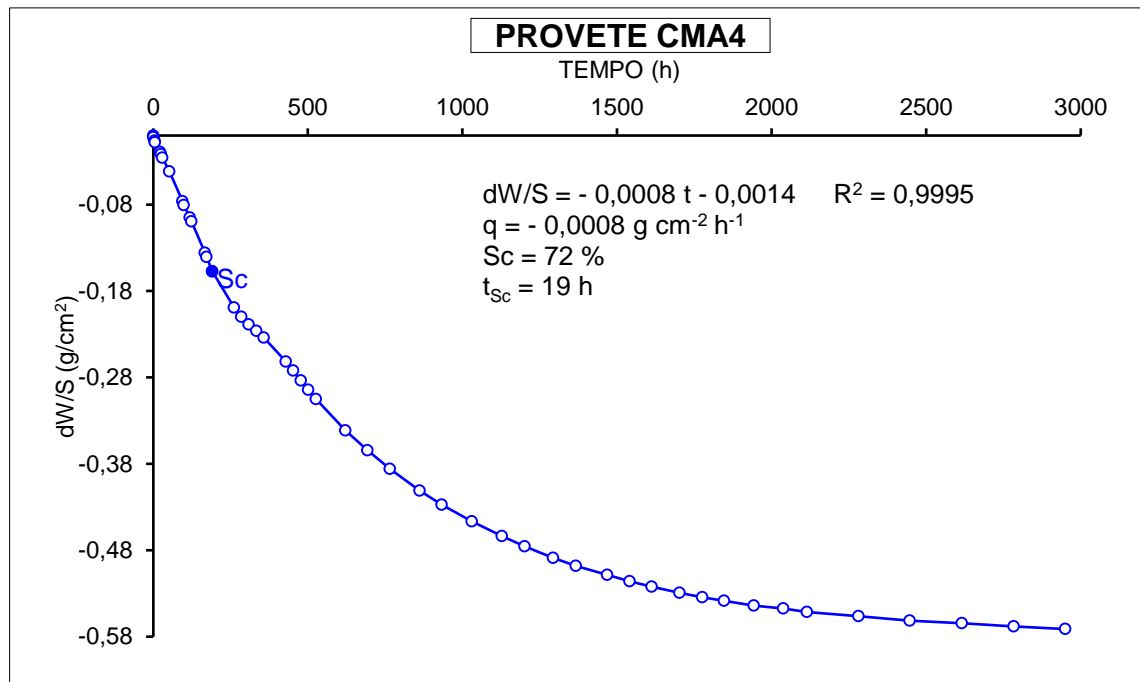


Anexo 12 - Ensaio de evaporação – Provete CMA 4

| PROVETE CMA4 | | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 14 | 3 | 5 | 2018 | 215,47 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 12 | 4 | 3 | 5 | 2018 | 215,44 | 50 | 0,83 | -0,0018 |
| 15 | 53 | 3 | 5 | 2018 | 215,37 | 279 | 4,65 | -0,0061 |
| 17 | 16 | 3 | 5 | 2018 | 215,34 | 362 | 6,03 | -0,0080 |
| 8 | 59 | 4 | 5 | 2018 | 215,16 | 1305 | 21,75 | -0,0190 |
| 12 | 11 | 4 | 5 | 2018 | 215,12 | 1497 | 24,95 | -0,0215 |
| 17 | 10 | 4 | 5 | 2018 | 215,05 | 1796 | 29,93 | -0,0258 |
| 15 | 58 | 5 | 5 | 2018 | 214,79 | 3164 | 52,73 | -0,0418 |
| 10 | 2 | 7 | 5 | 2018 | 214,23 | 5688 | 94,80 | -0,0762 |
| 13 | 57 | 7 | 5 | 2018 | 214,16 | 5923 | 98,72 | -0,0805 |
| 10 | 4 | 8 | 5 | 2018 | 213,92 | 7130 | 118,83 | -0,0952 |
| 14 | 56 | 8 | 5 | 2018 | 213,85 | 7422 | 123,70 | -0,0995 |
| 10 | 39 | 10 | 5 | 2018 | 213,26 | 10045 | 167,42 | -0,1357 |
| 15 | 53 | 10 | 5 | 2018 | 213,18 | 10359 | 172,65 | -0,1407 |
| 10 | 34 | 11 | 5 | 2018 | 212,91 | 11480 | 191,33 | -0,1572 |
| 8 | 44 | 14 | 5 | 2018 | 212,23 | 15690 | 261,50 | -0,1990 |
| 8 | 42 | 15 | 5 | 2018 | 212,05 | 17128 | 285,47 | -0,2101 |
| 8 | 43 | 16 | 5 | 2018 | 211,91 | 18569 | 309,48 | -0,2187 |
| 8 | 37 | 17 | 5 | 2018 | 211,79 | 20003 | 333,38 | -0,2260 |
| 8 | 39 | 18 | 5 | 2018 | 211,66 | 21445 | 357,42 | -0,2340 |
| 8 | 38 | 21 | 5 | 2018 | 211,21 | 25764 | 429,40 | -0,2617 |
| 8 | 39 | 22 | 5 | 2018 | 211,04 | 27205 | 453,42 | -0,2721 |
| 8 | 37 | 23 | 5 | 2018 | 210,85 | 28643 | 477,38 | -0,2838 |
| 8 | 52 | 24 | 5 | 2018 | 210,68 | 30098 | 501,63 | -0,2942 |
| 9 | 17 | 25 | 5 | 2018 | 210,50 | 31563 | 526,05 | -0,3053 |
| 8 | 43 | 29 | 5 | 2018 | 209,91 | 37289 | 621,48 | -0,3415 |
| 8 | 49 | 1 | 6 | 2018 | 209,54 | 41615 | 693,58 | -0,3642 |
| 8 | 48 | 4 | 6 | 2018 | 209,19 | 45934 | 765,57 | -0,3857 |
| 9 | 6 | 8 | 6 | 2018 | 208,78 | 51712 | 861,87 | -0,4109 |
| 8 | 38 | 11 | 6 | 2018 | 208,51 | 56004 | 933,40 | -0,4275 |
| 10 | 13 | 15 | 6 | 2018 | 208,20 | 61859 | 1030,98 | -0,4465 |
| 11 | 2 | 19 | 6 | 2018 | 207,92 | 67668 | 1127,80 | -0,4637 |
| 12 | 49 | 22 | 6 | 2018 | 207,73 | 72095 | 1201,58 | -0,4754 |
| 9 | 29 | 26 | 6 | 2018 | 207,51 | 77655 | 1294,25 | -0,4889 |
| 10 | 44 | 29 | 6 | 2018 | 207,36 | 82050 | 1367,50 | -0,4981 |
| 15 | 46 | 3 | 7 | 2018 | 207,19 | 88112 | 1468,53 | -0,5086 |
| 16 | 37 | 6 | 7 | 2018 | 207,07 | 92483 | 1541,38 | -0,5159 |
| 15 | 40 | 9 | 7 | 2018 | 206,97 | 96746 | 1612,43 | -0,5221 |
| 10 | 9 | 13 | 7 | 2018 | 206,85 | 102175 | 1702,92 | -0,5294 |
| 11 | 19 | 16 | 7 | 2018 | 206,77 | 106565 | 1776,08 | -0,5344 |
| 10 | 16 | 19 | 7 | 2018 | 206,70 | 110822 | 1847,03 | -0,5387 |
| 10 | 32 | 23 | 7 | 2018 | 206,61 | 116598 | 1943,30 | -0,5442 |
| 9 | 28 | 27 | 7 | 2018 | 206,56 | 122294 | 2038,23 | -0,5473 |
| 13 | 58 | 30 | 7 | 2018 | 206,49 | 126884 | 2114,73 | -0,5516 |
| 12 | 44 | 6 | 8 | 2018 | 206,41 | 136890 | 2281,50 | -0,5565 |
| 10 | 44 | 13 | 8 | 2018 | 206,33 | 146850 | 2447,50 | -0,5614 |
| 10 | 51 | 20 | 8 | 2018 | 206,28 | 156937 | 2615,62 | -0,5645 |
| 11 | 0 | 27 | 8 | 2018 | 206,22 | 167026 | 2783,77 | -0,5681 |
| 9 | 33 | 3 | 9 | 2018 | 206,17 | 177019 | 2950,32 | -0,5712 |

Dados do provete CMA4

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 215,47 |
| Secção (cm²) | 16,28 |
| Altura (cm) | 6,08 |
| Saturação crítica (%) | 72 |

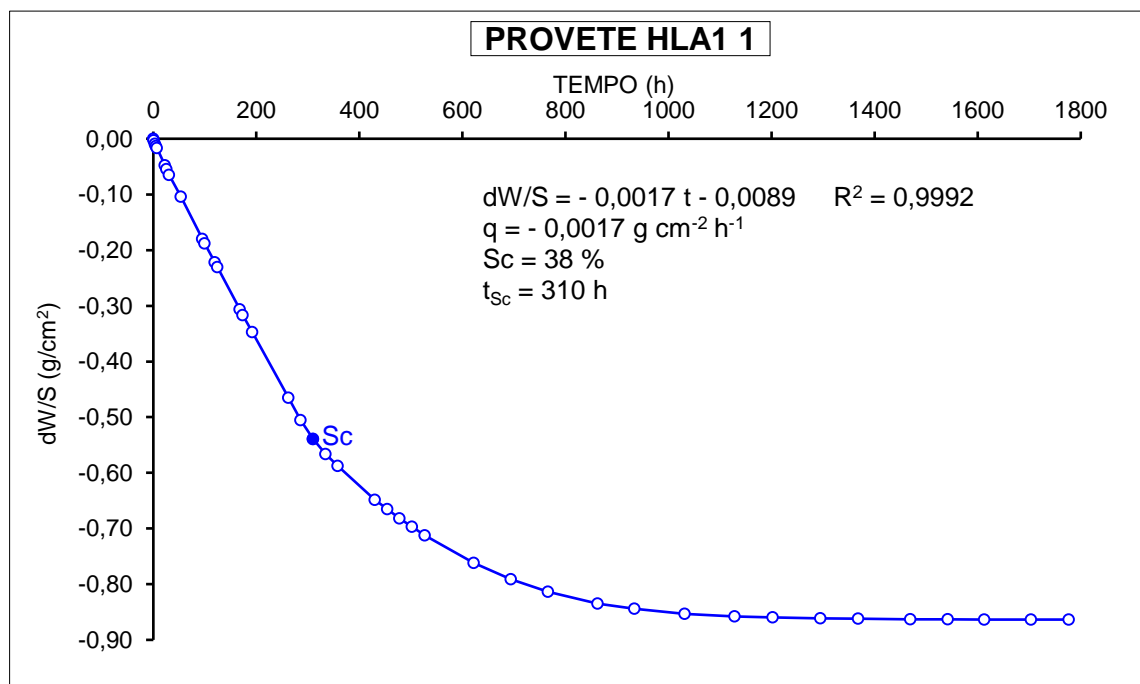


Anexo 13 - Ensaio de evaporação – Provete HLA1 1

| PROVETE HLA1 1 | | | | | | | | |
|----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 11 | 3 | 5 | 2018 | 184,34 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 6 | 3 | 5 | 2018 | 184,29 | 55 | 0,92 | -0,0032 |
| 13 | 21 | 3 | 5 | 2018 | 184,20 | 190 | 3,17 | -0,0090 |
| 15 | 42 | 3 | 5 | 2018 | 184,13 | 331 | 5,52 | -0,0136 |
| 17 | 8 | 3 | 5 | 2018 | 184,08 | 417 | 6,95 | -0,0168 |
| 8 | 48 | 4 | 5 | 2018 | 183,60 | 1357 | 22,62 | -0,0478 |
| 11 | 59 | 4 | 5 | 2018 | 183,49 | 1548 | 25,80 | -0,0549 |
| 17 | 0 | 4 | 5 | 2018 | 183,33 | 1849 | 30,82 | -0,0652 |
| 15 | 49 | 5 | 5 | 2018 | 182,73 | 3218 | 53,63 | -0,1040 |
| 9 | 48 | 7 | 5 | 2018 | 181,55 | 5737 | 95,62 | -0,1802 |
| 13 | 46 | 7 | 5 | 2018 | 181,43 | 5975 | 99,58 | -0,1879 |
| 9 | 52 | 8 | 5 | 2018 | 180,90 | 7181 | 119,68 | -0,2222 |
| 14 | 44 | 8 | 5 | 2018 | 180,77 | 7473 | 124,55 | -0,2306 |
| 10 | 25 | 10 | 5 | 2018 | 179,59 | 10094 | 168,23 | -0,3068 |
| 15 | 44 | 10 | 5 | 2018 | 179,43 | 10413 | 173,55 | -0,3171 |
| 10 | 22 | 11 | 5 | 2018 | 178,96 | 11531 | 192,18 | -0,3475 |
| 8 | 31 | 14 | 5 | 2018 | 177,14 | 15740 | 262,33 | -0,4650 |
| 8 | 28 | 15 | 5 | 2018 | 176,51 | 17177 | 286,28 | -0,5057 |
| 8 | 34 | 16 | 5 | 2018 | 175,99 | 18623 | 310,38 | -0,5393 |
| 8 | 26 | 17 | 5 | 2018 | 175,57 | 20055 | 334,25 | -0,5664 |
| 8 | 27 | 18 | 5 | 2018 | 175,24 | 21496 | 358,27 | -0,5877 |
| 8 | 27 | 21 | 5 | 2018 | 174,30 | 25816 | 430,27 | -0,6485 |
| 8 | 27 | 22 | 5 | 2018 | 174,04 | 27256 | 454,27 | -0,6652 |
| 8 | 27 | 23 | 5 | 2018 | 173,78 | 28696 | 478,27 | -0,6820 |
| 8 | 43 | 24 | 5 | 2018 | 173,55 | 30152 | 502,53 | -0,6969 |
| 9 | 6 | 25 | 5 | 2018 | 173,31 | 31615 | 526,92 | -0,7124 |
| 8 | 34 | 29 | 5 | 2018 | 172,54 | 37343 | 622,38 | -0,7621 |
| 8 | 31 | 1 | 6 | 2018 | 172,09 | 41660 | 694,33 | -0,7912 |
| 8 | 36 | 4 | 6 | 2018 | 171,74 | 45985 | 766,42 | -0,8138 |
| 8 | 46 | 8 | 6 | 2018 | 171,41 | 51755 | 862,58 | -0,8351 |
| 8 | 26 | 11 | 6 | 2018 | 171,27 | 56055 | 934,25 | -0,8442 |
| 10 | 2 | 15 | 6 | 2018 | 171,13 | 61911 | 1031,85 | -0,8532 |
| 10 | 54 | 19 | 6 | 2018 | 171,06 | 67723 | 1128,72 | -0,8577 |
| 12 | 39 | 22 | 6 | 2018 | 171,03 | 72148 | 1202,47 | -0,8597 |
| 9 | 20 | 26 | 6 | 2018 | 171,00 | 77709 | 1295,15 | -0,8616 |
| 10 | 34 | 29 | 6 | 2018 | 170,99 | 82103 | 1368,38 | -0,8622 |
| 15 | 38 | 3 | 7 | 2018 | 170,98 | 88167 | 1469,45 | -0,8629 |
| 16 | 28 | 6 | 7 | 2018 | 170,98 | 92537 | 1542,28 | -0,8629 |
| 15 | 32 | 9 | 7 | 2018 | 170,97 | 96801 | 1613,35 | -0,8635 |
| 10 | 0 | 13 | 7 | 2018 | 170,97 | 102229 | 1703,82 | -0,8635 |
| 11 | 12 | 16 | 7 | 2018 | 170,97 | 106621 | 1777,02 | -0,8635 |

Dados do provete HLA1 1

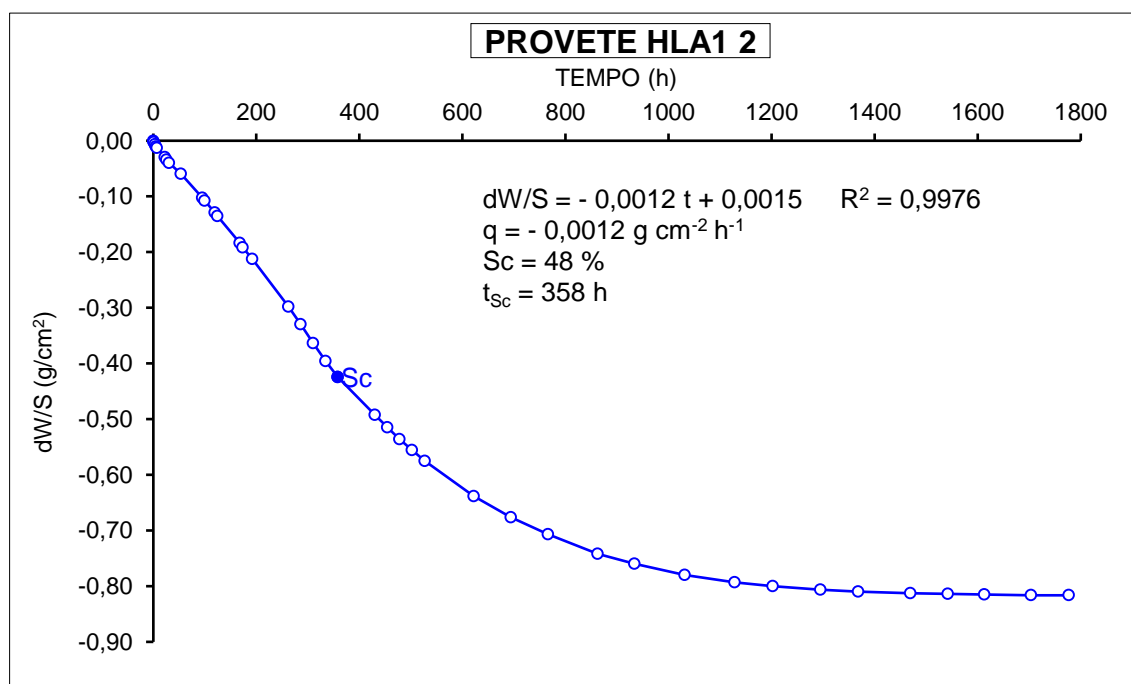
| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 184,34 |
| Secção (cm²) | 15,48 |
| Altura (cm) | 6,16 |
| Saturação crítica (%) | 38 |



Anexo 14 - Ensaio de evaporação – Provete HLA1 2

| PROVETE HLA1 2 | | | | | | | | |
|----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 13 | 3 | 5 | 2018 | 182,58 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 6 | 3 | 5 | 2018 | 182,54 | 53 | 0,88 | -0,0026 |
| 13 | 22 | 3 | 5 | 2018 | 182,48 | 189 | 3,15 | -0,0065 |
| 15 | 43 | 3 | 5 | 2018 | 182,42 | 330 | 5,50 | -0,0104 |
| 17 | 8 | 3 | 5 | 2018 | 182,38 | 415 | 6,92 | -0,0130 |
| 8 | 48 | 4 | 5 | 2018 | 182,13 | 1355 | 22,58 | -0,0293 |
| 11 | 59 | 4 | 5 | 2018 | 182,06 | 1546 | 25,77 | -0,0339 |
| 17 | 0 | 4 | 5 | 2018 | 181,97 | 1847 | 30,78 | -0,0398 |
| 15 | 49 | 5 | 5 | 2018 | 181,67 | 3216 | 53,60 | -0,0593 |
| 9 | 49 | 7 | 5 | 2018 | 181,01 | 5736 | 95,60 | -0,1024 |
| 13 | 46 | 7 | 5 | 2018 | 180,93 | 5973 | 99,55 | -0,1076 |
| 9 | 52 | 8 | 5 | 2018 | 180,60 | 7179 | 119,65 | -0,1291 |
| 14 | 44 | 8 | 5 | 2018 | 180,50 | 7471 | 124,52 | -0,1356 |
| 10 | 26 | 10 | 5 | 2018 | 179,76 | 10093 | 168,22 | -0,1839 |
| 15 | 44 | 10 | 5 | 2018 | 179,64 | 10411 | 173,52 | -0,1917 |
| 10 | 22 | 11 | 5 | 2018 | 179,32 | 11529 | 192,15 | -0,2126 |
| 8 | 32 | 14 | 5 | 2018 | 178,01 | 15739 | 262,32 | -0,2980 |
| 8 | 29 | 15 | 5 | 2018 | 177,52 | 17176 | 286,27 | -0,3299 |
| 8 | 34 | 16 | 5 | 2018 | 177,00 | 18621 | 310,35 | -0,3638 |
| 8 | 27 | 17 | 5 | 2018 | 176,51 | 20054 | 334,23 | -0,3958 |
| 8 | 28 | 18 | 5 | 2018 | 176,07 | 21495 | 358,25 | -0,4245 |
| 8 | 28 | 21 | 5 | 2018 | 175,03 | 25815 | 430,25 | -0,4923 |
| 8 | 28 | 22 | 5 | 2018 | 174,68 | 27255 | 454,25 | -0,5151 |
| 8 | 27 | 23 | 5 | 2018 | 174,36 | 28694 | 478,23 | -0,5360 |
| 8 | 43 | 24 | 5 | 2018 | 174,06 | 30150 | 502,50 | -0,5555 |
| 9 | 6 | 25 | 5 | 2018 | 173,76 | 31613 | 526,88 | -0,5751 |
| 8 | 34 | 29 | 5 | 2018 | 172,79 | 37341 | 622,35 | -0,6383 |
| 8 | 32 | 1 | 6 | 2018 | 172,21 | 41659 | 694,32 | -0,6761 |
| 8 | 37 | 4 | 6 | 2018 | 171,74 | 45984 | 766,40 | -0,7068 |
| 8 | 46 | 8 | 6 | 2018 | 171,20 | 51753 | 862,55 | -0,7420 |
| 8 | 27 | 11 | 6 | 2018 | 170,93 | 56054 | 934,23 | -0,7596 |
| 10 | 3 | 15 | 6 | 2018 | 170,62 | 61910 | 1031,83 | -0,7798 |
| 10 | 54 | 19 | 6 | 2018 | 170,42 | 67721 | 1128,68 | -0,7929 |
| 12 | 39 | 22 | 6 | 2018 | 170,31 | 72146 | 1202,43 | -0,8000 |
| 9 | 21 | 26 | 6 | 2018 | 170,21 | 77708 | 1295,13 | -0,8066 |
| 10 | 35 | 29 | 6 | 2018 | 170,16 | 82102 | 1368,37 | -0,8098 |
| 15 | 39 | 3 | 7 | 2018 | 170,12 | 88166 | 1469,43 | -0,8124 |
| 16 | 29 | 6 | 7 | 2018 | 170,10 | 92536 | 1542,27 | -0,8137 |
| 15 | 32 | 9 | 7 | 2018 | 170,08 | 96799 | 1613,32 | -0,8150 |
| 10 | 0 | 13 | 7 | 2018 | 170,06 | 102227 | 1703,78 | -0,8163 |
| 11 | 12 | 16 | 7 | 2018 | 170,06 | 106619 | 1776,98 | -0,8163 |

| Dados do provete HLA1 2 | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 182,58 |
| Secção (cm ²) | 15,34 |
| Altura (cm) | 6,14 |
| Saturação crítica (%) | 48 |

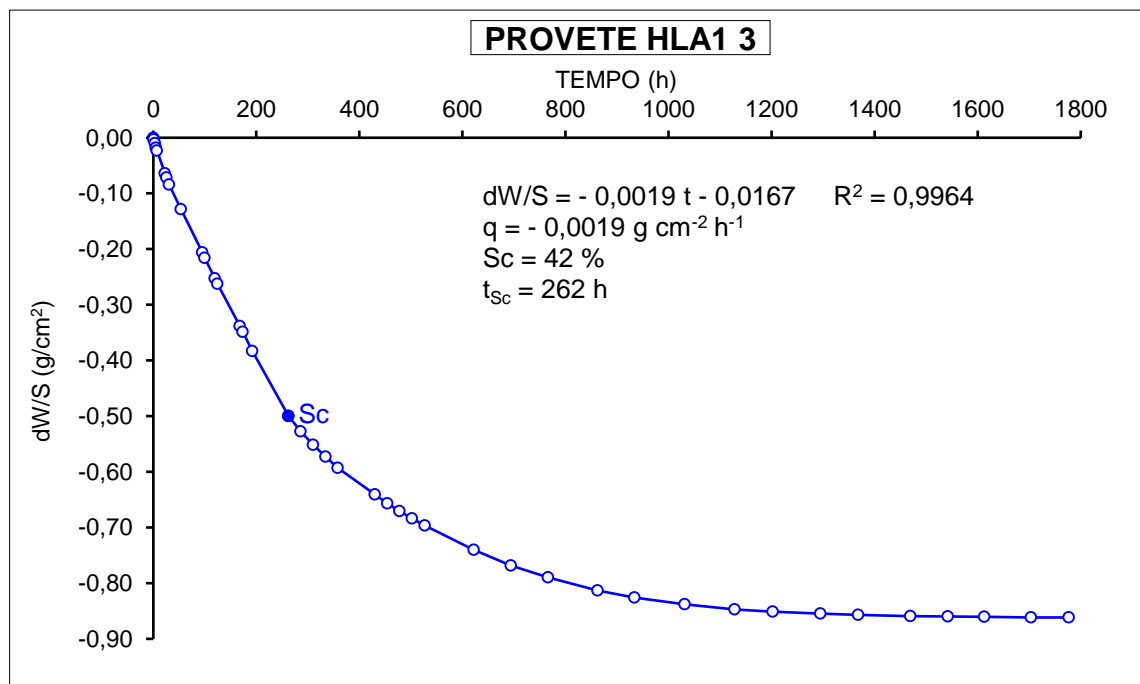


Anexo 15 - Ensaio de evaporação – Provete HLA1 3

| PROVETE HLA1 3 | | | | | | | | |
|----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 14 | 3 | 5 | 2018 | 185,67 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 7 | 3 | 5 | 2018 | 185,62 | 53 | 0,88 | -0,0033 |
| 13 | 22 | 3 | 5 | 2018 | 185,52 | 188 | 3,13 | -0,0098 |
| 15 | 43 | 3 | 5 | 2018 | 185,39 | 329 | 5,48 | -0,0182 |
| 17 | 9 | 3 | 5 | 2018 | 185,31 | 415 | 6,92 | -0,0235 |
| 8 | 49 | 4 | 5 | 2018 | 184,69 | 1355 | 22,58 | -0,0639 |
| 12 | 0 | 4 | 5 | 2018 | 184,57 | 1546 | 25,77 | -0,0717 |
| 17 | 1 | 4 | 5 | 2018 | 184,38 | 1847 | 30,78 | -0,0841 |
| 15 | 49 | 5 | 5 | 2018 | 183,70 | 3215 | 53,58 | -0,1284 |
| 9 | 49 | 7 | 5 | 2018 | 182,51 | 5735 | 95,58 | -0,2059 |
| 13 | 47 | 7 | 5 | 2018 | 182,36 | 5973 | 99,55 | -0,2157 |
| 9 | 53 | 8 | 5 | 2018 | 181,79 | 7179 | 119,65 | -0,2529 |
| 14 | 45 | 8 | 5 | 2018 | 181,64 | 7471 | 124,52 | -0,2626 |
| 10 | 26 | 10 | 5 | 2018 | 180,48 | 10092 | 168,20 | -0,3382 |
| 15 | 45 | 10 | 5 | 2018 | 180,32 | 10411 | 173,52 | -0,3487 |
| 10 | 23 | 11 | 5 | 2018 | 179,79 | 11529 | 192,15 | -0,3832 |
| 8 | 32 | 14 | 5 | 2018 | 178,00 | 15738 | 262,30 | -0,4999 |
| 8 | 29 | 15 | 5 | 2018 | 177,58 | 17175 | 286,25 | -0,5272 |
| 8 | 34 | 16 | 5 | 2018 | 177,21 | 18620 | 310,33 | -0,5514 |
| 8 | 27 | 17 | 5 | 2018 | 176,88 | 20053 | 334,22 | -0,5729 |
| 8 | 28 | 18 | 5 | 2018 | 176,57 | 21494 | 358,23 | -0,5931 |
| 8 | 28 | 21 | 5 | 2018 | 175,84 | 25814 | 430,23 | -0,6406 |
| 8 | 29 | 22 | 5 | 2018 | 175,59 | 27255 | 454,25 | -0,6569 |
| 8 | 28 | 23 | 5 | 2018 | 175,38 | 28694 | 478,23 | -0,6706 |
| 8 | 43 | 24 | 5 | 2018 | 175,18 | 30149 | 502,48 | -0,6837 |
| 9 | 7 | 25 | 5 | 2018 | 174,98 | 31613 | 526,88 | -0,6967 |
| 8 | 35 | 29 | 5 | 2018 | 174,31 | 37341 | 622,35 | -0,7404 |
| 8 | 32 | 1 | 6 | 2018 | 173,88 | 41658 | 694,30 | -0,7684 |
| 8 | 37 | 4 | 6 | 2018 | 173,55 | 45983 | 766,38 | -0,7899 |
| 8 | 47 | 8 | 6 | 2018 | 173,19 | 51753 | 862,55 | -0,8134 |
| 8 | 27 | 11 | 6 | 2018 | 173,00 | 56053 | 934,22 | -0,8257 |
| 10 | 3 | 15 | 6 | 2018 | 172,81 | 61909 | 1031,82 | -0,8381 |
| 10 | 55 | 19 | 6 | 2018 | 172,67 | 67721 | 1128,68 | -0,8472 |
| 12 | 40 | 22 | 6 | 2018 | 172,61 | 72146 | 1202,43 | -0,8512 |
| 9 | 21 | 26 | 6 | 2018 | 172,56 | 77707 | 1295,12 | -0,8544 |
| 10 | 35 | 29 | 6 | 2018 | 172,52 | 82101 | 1368,35 | -0,8570 |
| 15 | 39 | 3 | 7 | 2018 | 172,49 | 88165 | 1469,42 | -0,8590 |
| 16 | 29 | 6 | 7 | 2018 | 172,48 | 92535 | 1542,25 | -0,8596 |
| 15 | 33 | 9 | 7 | 2018 | 172,47 | 96799 | 1613,32 | -0,8603 |
| 10 | 1 | 13 | 7 | 2018 | 172,45 | 102227 | 1703,78 | -0,8616 |
| 11 | 13 | 16 | 7 | 2018 | 172,45 | 106619 | 1776,98 | -0,8616 |

Dados do provete HLA1 3

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 185,67 |
| Secção (cm ²) | 15,34 |
| Altura (cm) | 6,21 |
| Saturação crítica (%) | 42 |

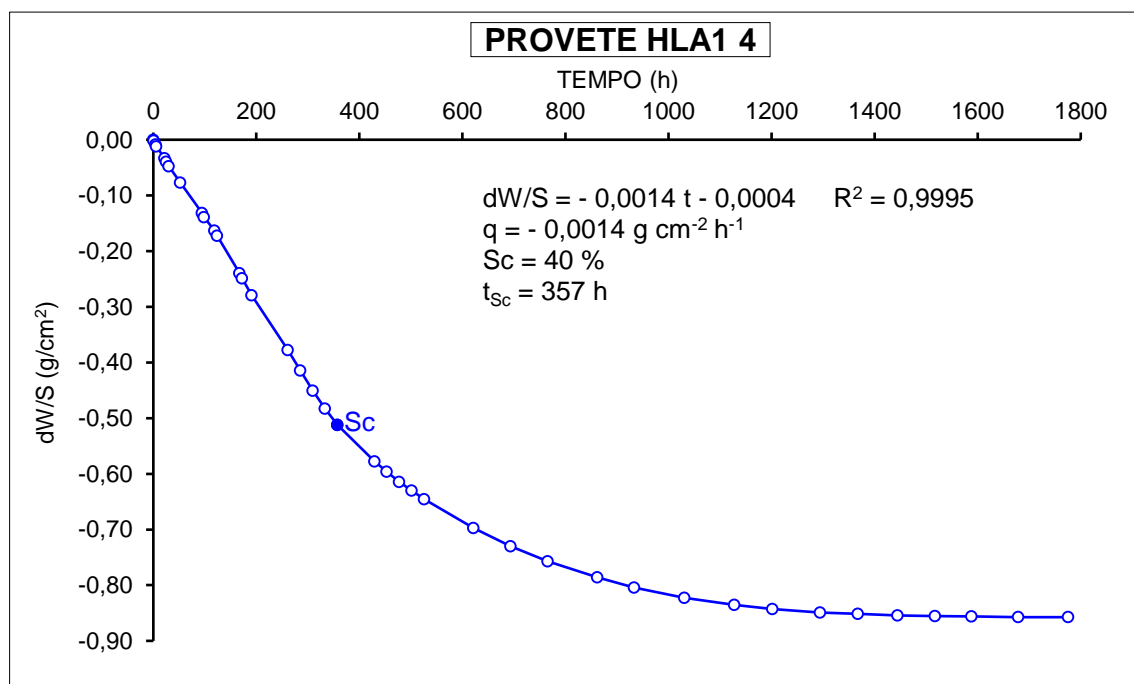


Anexo 16 - Ensaio de evaporação – Provete HLA1 4

| PROVETE HLA1 4 | | | | | | | | |
|----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 16 | 3 | 5 | 2018 | 185,02 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 12 | 5 | 3 | 5 | 2018 | 184,99 | 49 | 0,82 | -0,0019 |
| 15 | 53 | 3 | 5 | 2018 | 184,89 | 277 | 4,62 | -0,0084 |
| 17 | 16 | 3 | 5 | 2018 | 184,83 | 360 | 6,00 | -0,0122 |
| 8 | 59 | 4 | 5 | 2018 | 184,50 | 1303 | 21,72 | -0,0334 |
| 12 | 11 | 4 | 5 | 2018 | 184,40 | 1495 | 24,92 | -0,0399 |
| 17 | 10 | 4 | 5 | 2018 | 184,28 | 1794 | 29,90 | -0,0476 |
| 15 | 58 | 5 | 5 | 2018 | 183,82 | 3162 | 52,70 | -0,0772 |
| 10 | 3 | 7 | 5 | 2018 | 182,97 | 5687 | 94,78 | -0,1319 |
| 13 | 58 | 7 | 5 | 2018 | 182,86 | 5922 | 98,70 | -0,1389 |
| 10 | 4 | 8 | 5 | 2018 | 182,48 | 7128 | 118,80 | -0,1634 |
| 14 | 57 | 8 | 5 | 2018 | 182,34 | 7421 | 123,68 | -0,1724 |
| 10 | 40 | 10 | 5 | 2018 | 181,29 | 10044 | 167,40 | -0,2399 |
| 15 | 53 | 10 | 5 | 2018 | 181,15 | 10357 | 172,62 | -0,2489 |
| 10 | 34 | 11 | 5 | 2018 | 180,68 | 11478 | 191,30 | -0,2792 |
| 8 | 44 | 14 | 5 | 2018 | 179,15 | 15688 | 261,47 | -0,3776 |
| 8 | 43 | 15 | 5 | 2018 | 178,58 | 17127 | 285,45 | -0,4143 |
| 8 | 44 | 16 | 5 | 2018 | 178,01 | 18568 | 309,47 | -0,4509 |
| 8 | 37 | 17 | 5 | 2018 | 177,51 | 20001 | 333,35 | -0,4831 |
| 8 | 39 | 18 | 5 | 2018 | 177,06 | 21443 | 357,38 | -0,5120 |
| 8 | 39 | 21 | 5 | 2018 | 176,04 | 25763 | 429,38 | -0,5776 |
| 8 | 40 | 22 | 5 | 2018 | 175,75 | 27204 | 453,40 | -0,5963 |
| 8 | 37 | 23 | 5 | 2018 | 175,47 | 28641 | 477,35 | -0,6143 |
| 8 | 52 | 24 | 5 | 2018 | 175,22 | 30096 | 501,60 | -0,6304 |
| 9 | 17 | 25 | 5 | 2018 | 174,98 | 31561 | 526,02 | -0,6458 |
| 8 | 43 | 29 | 5 | 2018 | 174,18 | 37287 | 621,45 | -0,6973 |
| 8 | 50 | 1 | 6 | 2018 | 173,67 | 41614 | 693,57 | -0,7301 |
| 8 | 49 | 4 | 6 | 2018 | 173,25 | 45933 | 765,55 | -0,7571 |
| 9 | 7 | 8 | 6 | 2018 | 172,80 | 51711 | 861,85 | -0,7861 |
| 8 | 38 | 11 | 6 | 2018 | 172,52 | 56002 | 933,37 | -0,8041 |
| 10 | 13 | 15 | 6 | 2018 | 172,23 | 61857 | 1030,95 | -0,8227 |
| 11 | 2 | 19 | 6 | 2018 | 172,03 | 67666 | 1127,77 | -0,8356 |
| 12 | 49 | 22 | 6 | 2018 | 171,92 | 72093 | 1201,55 | -0,8427 |
| 9 | 30 | 26 | 6 | 2018 | 171,82 | 77654 | 1294,23 | -0,8491 |
| 10 | 44 | 29 | 6 | 2018 | 171,78 | 82048 | 1367,47 | -0,8517 |
| 15 | 46 | 3 | 7 | 2018 | 171,74 | 86670 | 1444,50 | -0,8542 |
| 16 | 37 | 6 | 7 | 2018 | 171,72 | 91041 | 1517,35 | -0,8555 |
| 15 | 40 | 9 | 7 | 2018 | 171,71 | 95304 | 1588,40 | -0,8562 |
| 10 | 10 | 13 | 7 | 2018 | 171,69 | 100734 | 1678,90 | -0,8575 |
| 11 | 20 | 16 | 7 | 2018 | 171,69 | 106564 | 1776,07 | -0,8575 |

Dados do provete HLA1 4

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 185,02 |
| Secção (cm ²) | 15,55 |
| Altura (cm) | 6,12 |
| Saturação crítica (%) | 40 |

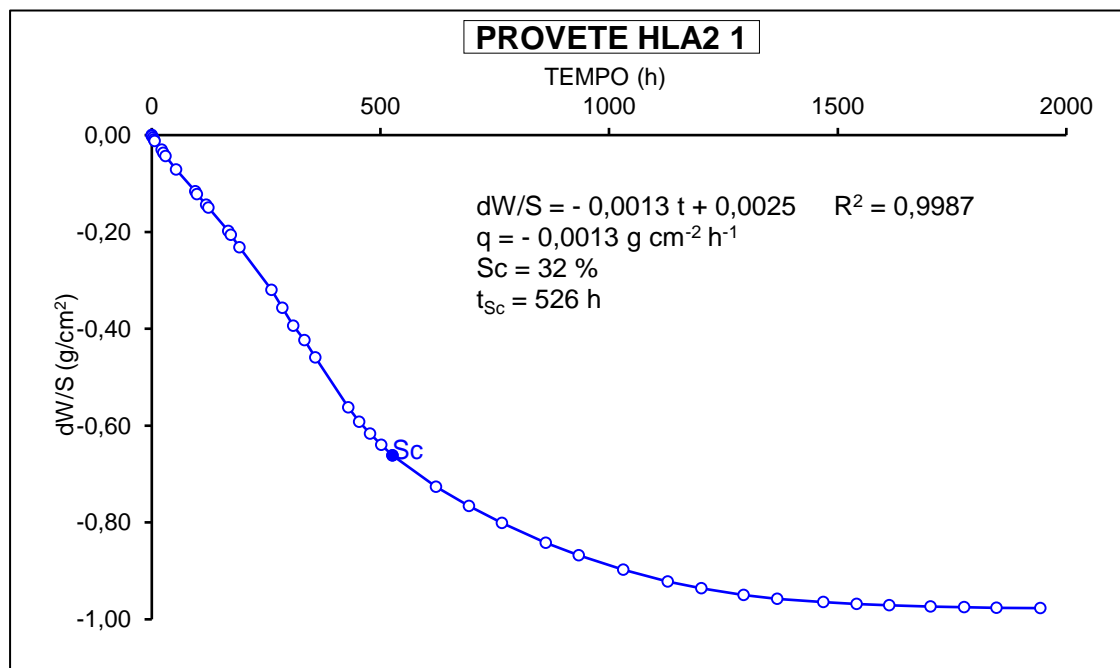


Anexo 17 - Ensaio de evaporação – Provete HLA2 1

| PROVETE HLA2 1 | | | | | | | | |
|----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 43 | 3 | 5 | 2018 | 194,54 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 8 | 3 | 5 | 2018 | 194,51 | 25 | 0,42 | -0,0018 |
| 13 | 27 | 3 | 5 | 2018 | 194,46 | 164 | 2,73 | -0,0049 |
| 15 | 46 | 3 | 5 | 2018 | 194,39 | 303 | 5,05 | -0,0092 |
| 17 | 11 | 3 | 5 | 2018 | 194,34 | 388 | 6,47 | -0,0122 |
| 8 | 52 | 4 | 5 | 2018 | 194,04 | 1329 | 22,15 | -0,0305 |
| 12 | 3 | 4 | 5 | 2018 | 193,94 | 1520 | 25,33 | -0,0366 |
| 17 | 4 | 4 | 5 | 2018 | 193,83 | 1821 | 30,35 | -0,0433 |
| 15 | 52 | 5 | 5 | 2018 | 193,37 | 3189 | 53,15 | -0,0714 |
| 9 | 52 | 7 | 5 | 2018 | 192,64 | 5709 | 95,15 | -0,1159 |
| 13 | 50 | 7 | 5 | 2018 | 192,54 | 5947 | 99,12 | -0,1220 |
| 9 | 56 | 8 | 5 | 2018 | 192,18 | 7153 | 119,22 | -0,1440 |
| 14 | 48 | 8 | 5 | 2018 | 192,08 | 7445 | 124,08 | -0,1501 |
| 10 | 29 | 10 | 5 | 2018 | 191,29 | 10066 | 167,77 | -0,1983 |
| 15 | 47 | 10 | 5 | 2018 | 191,16 | 10384 | 173,07 | -0,2062 |
| 10 | 26 | 11 | 5 | 2018 | 190,74 | 11503 | 191,72 | -0,2319 |
| 8 | 36 | 14 | 5 | 2018 | 189,30 | 15713 | 261,88 | -0,3197 |
| 8 | 34 | 15 | 5 | 2018 | 188,69 | 17151 | 285,85 | -0,3570 |
| 8 | 37 | 16 | 5 | 2018 | 188,09 | 18594 | 309,90 | -0,3936 |
| 8 | 30 | 17 | 5 | 2018 | 187,60 | 20027 | 333,78 | -0,4235 |
| 8 | 32 | 18 | 5 | 2018 | 187,01 | 21469 | 357,82 | -0,4595 |
| 8 | 31 | 21 | 5 | 2018 | 185,32 | 25788 | 429,80 | -0,5626 |
| 8 | 32 | 22 | 5 | 2018 | 184,83 | 27229 | 453,82 | -0,5925 |
| 8 | 30 | 23 | 5 | 2018 | 184,43 | 28667 | 477,78 | -0,6169 |
| 8 | 46 | 24 | 5 | 2018 | 184,05 | 30123 | 502,05 | -0,6401 |
| 9 | 9 | 25 | 5 | 2018 | 183,70 | 31586 | 526,43 | -0,6614 |
| 8 | 37 | 29 | 5 | 2018 | 182,64 | 37314 | 621,90 | -0,7261 |
| 8 | 36 | 1 | 6 | 2018 | 181,99 | 41633 | 693,88 | -0,7658 |
| 8 | 40 | 4 | 6 | 2018 | 181,41 | 45957 | 765,95 | -0,8012 |
| 8 | 52 | 8 | 6 | 2018 | 180,74 | 51729 | 862,15 | -0,8420 |
| 8 | 30 | 11 | 6 | 2018 | 180,32 | 56027 | 933,78 | -0,8677 |
| 10 | 6 | 15 | 6 | 2018 | 179,83 | 61883 | 1031,38 | -0,8976 |
| 10 | 57 | 19 | 6 | 2018 | 179,43 | 67694 | 1128,23 | -0,9220 |
| 12 | 44 | 22 | 6 | 2018 | 179,20 | 72121 | 1202,02 | -0,9360 |
| 9 | 23 | 26 | 6 | 2018 | 178,97 | 77680 | 1294,67 | -0,9501 |
| 10 | 38 | 29 | 6 | 2018 | 178,84 | 82075 | 1367,92 | -0,9580 |
| 15 | 41 | 3 | 7 | 2018 | 178,73 | 88138 | 1468,97 | -0,9647 |
| 16 | 32 | 6 | 7 | 2018 | 178,67 | 92509 | 1541,82 | -0,9684 |
| 15 | 35 | 9 | 7 | 2018 | 178,63 | 96772 | 1612,87 | -0,9708 |
| 10 | 4 | 13 | 7 | 2018 | 178,58 | 102201 | 1703,35 | -0,9738 |
| 11 | 15 | 16 | 7 | 2018 | 178,56 | 106592 | 1776,53 | -0,9751 |
| 10 | 11 | 19 | 7 | 2018 | 178,54 | 110848 | 1847,47 | -0,9763 |
| 10 | 27 | 23 | 7 | 2018 | 178,53 | 116624 | 1943,73 | -0,9769 |

Dados do provete HLA2 1

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 194,54 |
| Secção (cm ²) | 16,39 |
| Altura (cm) | 6,14 |
| Saturação crítica (%) | 32 |

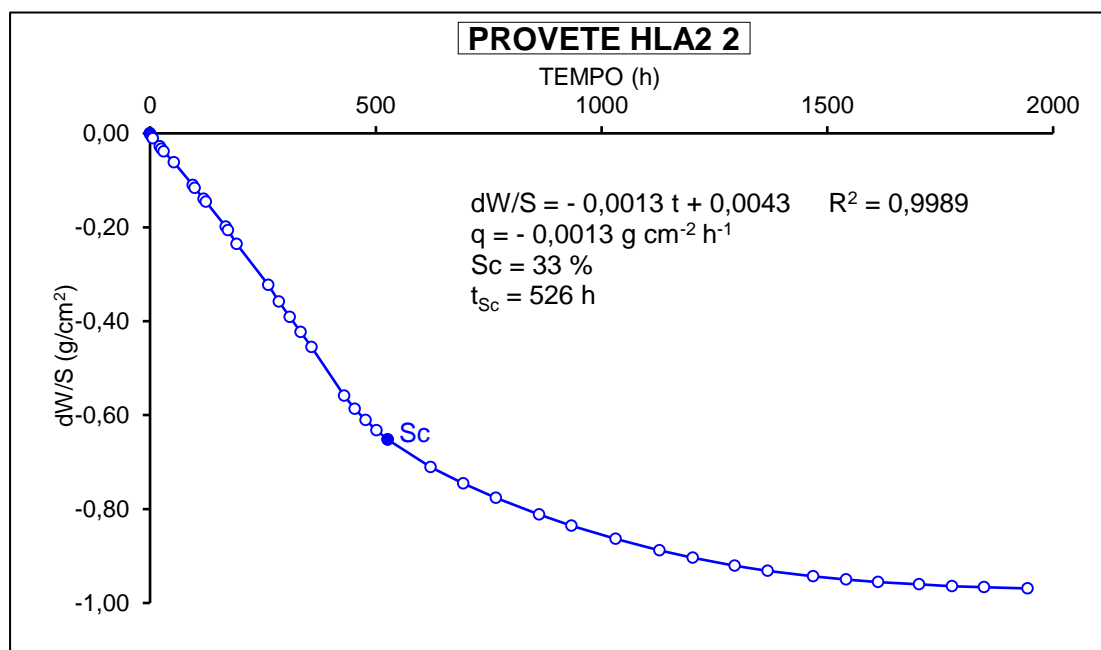


Anexo 18 - Ensaio de evaporação – Provete HLA2 2

| PROVETE HLA2 2 | | | | | | | | |
|----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 44 | 3 | 5 | 2018 | 195,94 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 9 | 3 | 5 | 2018 | 195,91 | 25 | 0,42 | -0,0018 |
| 13 | 27 | 3 | 5 | 2018 | 195,86 | 163 | 2,72 | -0,0049 |
| 15 | 46 | 3 | 5 | 2018 | 195,81 | 302 | 5,03 | -0,0079 |
| 17 | 11 | 3 | 5 | 2018 | 195,76 | 387 | 6,45 | -0,0110 |
| 8 | 52 | 4 | 5 | 2018 | 195,49 | 1328 | 22,13 | -0,0275 |
| 12 | 4 | 4 | 5 | 2018 | 195,40 | 1520 | 25,33 | -0,0330 |
| 17 | 4 | 4 | 5 | 2018 | 195,31 | 1820 | 30,33 | -0,0385 |
| 15 | 52 | 5 | 5 | 2018 | 194,93 | 3188 | 53,13 | -0,0617 |
| 9 | 53 | 7 | 5 | 2018 | 194,14 | 5709 | 95,15 | -0,1100 |
| 13 | 50 | 7 | 5 | 2018 | 194,04 | 5946 | 99,10 | -0,1161 |
| 9 | 56 | 8 | 5 | 2018 | 193,66 | 7152 | 119,20 | -0,1393 |
| 14 | 49 | 8 | 5 | 2018 | 193,55 | 7445 | 124,08 | -0,1460 |
| 10 | 30 | 10 | 5 | 2018 | 192,68 | 10066 | 167,77 | -0,1992 |
| 15 | 47 | 10 | 5 | 2018 | 192,56 | 10383 | 173,05 | -0,2065 |
| 10 | 27 | 11 | 5 | 2018 | 192,08 | 11503 | 191,72 | -0,2358 |
| 8 | 36 | 14 | 5 | 2018 | 190,65 | 15712 | 261,87 | -0,3232 |
| 8 | 34 | 15 | 5 | 2018 | 190,08 | 17150 | 285,83 | -0,3580 |
| 8 | 37 | 16 | 5 | 2018 | 189,54 | 18593 | 309,88 | -0,3910 |
| 8 | 30 | 17 | 5 | 2018 | 189,02 | 20026 | 333,77 | -0,4228 |
| 8 | 33 | 18 | 5 | 2018 | 188,49 | 21469 | 357,82 | -0,4552 |
| 8 | 32 | 21 | 5 | 2018 | 186,80 | 25788 | 429,80 | -0,5584 |
| 8 | 33 | 22 | 5 | 2018 | 186,34 | 27229 | 453,82 | -0,5865 |
| 8 | 31 | 23 | 5 | 2018 | 185,95 | 28667 | 477,78 | -0,6104 |
| 8 | 46 | 24 | 5 | 2018 | 185,59 | 30122 | 502,03 | -0,6324 |
| 9 | 10 | 25 | 5 | 2018 | 185,27 | 31586 | 526,43 | -0,6519 |
| 8 | 37 | 29 | 5 | 2018 | 184,31 | 37313 | 621,88 | -0,7106 |
| 8 | 36 | 1 | 6 | 2018 | 183,74 | 41632 | 693,87 | -0,7454 |
| 8 | 40 | 4 | 6 | 2018 | 183,24 | 45956 | 765,93 | -0,7759 |
| 8 | 53 | 8 | 6 | 2018 | 182,65 | 51729 | 862,15 | -0,8120 |
| 8 | 31 | 11 | 6 | 2018 | 182,27 | 56027 | 933,78 | -0,8352 |
| 10 | 6 | 15 | 6 | 2018 | 181,81 | 61882 | 1031,37 | -0,8633 |
| 10 | 57 | 19 | 6 | 2018 | 181,41 | 67693 | 1128,22 | -0,8878 |
| 12 | 45 | 22 | 6 | 2018 | 181,15 | 72121 | 1202,02 | -0,9036 |
| 9 | 24 | 26 | 6 | 2018 | 180,87 | 77680 | 1294,67 | -0,9208 |
| 10 | 38 | 29 | 6 | 2018 | 180,69 | 82074 | 1367,90 | -0,9317 |
| 15 | 42 | 3 | 7 | 2018 | 180,50 | 88138 | 1468,97 | -0,9434 |
| 16 | 32 | 6 | 7 | 2018 | 180,39 | 92508 | 1541,80 | -0,9501 |
| 15 | 35 | 9 | 7 | 2018 | 180,30 | 96771 | 1612,85 | -0,9556 |
| 10 | 4 | 13 | 7 | 2018 | 180,22 | 102200 | 1703,33 | -0,9605 |
| 11 | 15 | 16 | 7 | 2018 | 180,16 | 106591 | 1776,52 | -0,9641 |
| 10 | 11 | 19 | 7 | 2018 | 180,12 | 110847 | 1847,45 | -0,9666 |
| 10 | 27 | 23 | 7 | 2018 | 180,08 | 116623 | 1943,72 | -0,9690 |

Dados do provete HLA2 2

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 195,94 |
| Secção (cm ²) | 16,37 |
| Altura (cm) | 6,15 |
| Saturação crítica (%) | 33 |

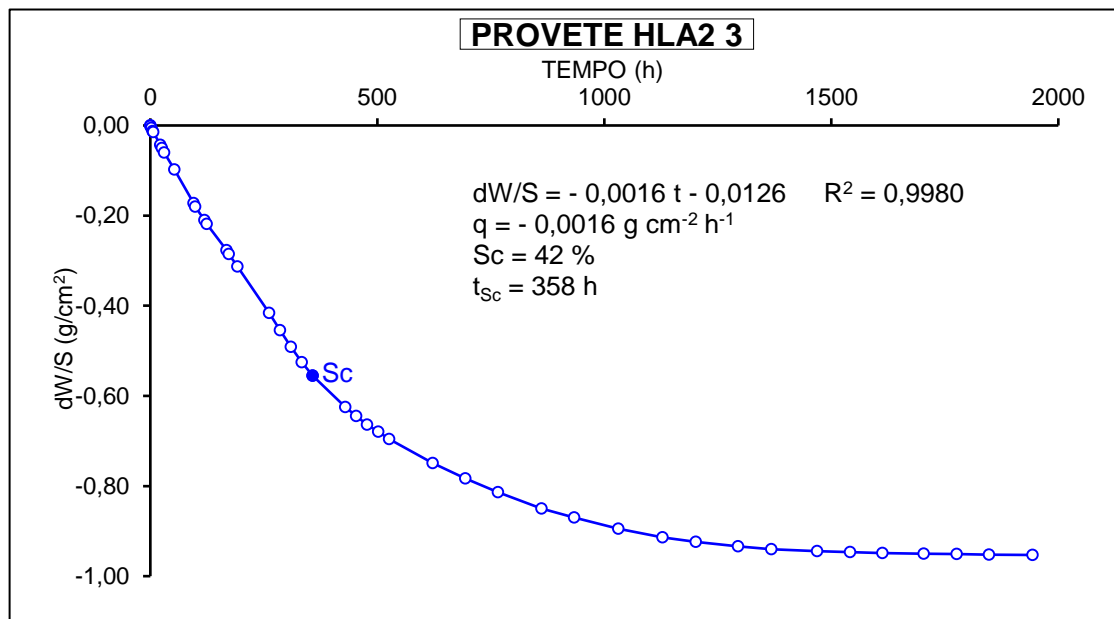


Anexo 19 - Ensaio de evaporação – Provete HLA2 3

| PROVETE HLA2 3 | | | | | | | | |
|----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 46 | 3 | 5 | 2018 | 193,92 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 9 | 3 | 5 | 2018 | 193,90 | 23 | 0,38 | -0,0012 |
| 13 | 28 | 3 | 5 | 2018 | 193,83 | 162 | 2,70 | -0,0055 |
| 15 | 46 | 3 | 5 | 2018 | 193,72 | 300 | 5,00 | -0,0123 |
| 17 | 11 | 3 | 5 | 2018 | 193,68 | 385 | 6,42 | -0,0147 |
| 8 | 52 | 4 | 5 | 2018 | 193,22 | 1326 | 22,10 | -0,0429 |
| 12 | 4 | 4 | 5 | 2018 | 193,10 | 1518 | 25,30 | -0,0503 |
| 17 | 4 | 4 | 5 | 2018 | 192,94 | 1818 | 30,30 | -0,0601 |
| 15 | 53 | 5 | 5 | 2018 | 192,32 | 3187 | 53,12 | -0,0981 |
| 9 | 53 | 7 | 5 | 2018 | 191,11 | 5707 | 95,12 | -0,1722 |
| 13 | 50 | 7 | 5 | 2018 | 190,98 | 5944 | 99,07 | -0,1802 |
| 9 | 57 | 8 | 5 | 2018 | 190,49 | 7151 | 119,18 | -0,2102 |
| 14 | 49 | 8 | 5 | 2018 | 190,35 | 7443 | 124,05 | -0,2188 |
| 10 | 31 | 10 | 5 | 2018 | 189,40 | 10065 | 167,75 | -0,2770 |
| 15 | 48 | 10 | 5 | 2018 | 189,26 | 10382 | 173,03 | -0,2856 |
| 10 | 27 | 11 | 5 | 2018 | 188,81 | 11501 | 191,68 | -0,3132 |
| 8 | 37 | 14 | 5 | 2018 | 187,13 | 15711 | 261,85 | -0,4161 |
| 8 | 35 | 15 | 5 | 2018 | 186,51 | 17149 | 285,82 | -0,4541 |
| 8 | 38 | 16 | 5 | 2018 | 185,90 | 18592 | 309,87 | -0,4915 |
| 8 | 31 | 17 | 5 | 2018 | 185,35 | 20025 | 333,75 | -0,5252 |
| 8 | 33 | 18 | 5 | 2018 | 184,86 | 21467 | 357,78 | -0,5553 |
| 8 | 32 | 21 | 5 | 2018 | 183,72 | 25786 | 429,77 | -0,6251 |
| 8 | 33 | 22 | 5 | 2018 | 183,40 | 27227 | 453,78 | -0,6447 |
| 8 | 31 | 23 | 5 | 2018 | 183,09 | 28665 | 477,75 | -0,6637 |
| 8 | 46 | 24 | 5 | 2018 | 182,83 | 30120 | 502,00 | -0,6797 |
| 9 | 10 | 25 | 5 | 2018 | 182,56 | 31584 | 526,40 | -0,6962 |
| 8 | 38 | 29 | 5 | 2018 | 181,69 | 37312 | 621,87 | -0,7495 |
| 8 | 36 | 1 | 6 | 2018 | 181,14 | 41630 | 693,83 | -0,7832 |
| 8 | 41 | 4 | 6 | 2018 | 180,64 | 45955 | 765,92 | -0,8139 |
| 8 | 54 | 8 | 6 | 2018 | 180,05 | 51728 | 862,13 | -0,8500 |
| 8 | 31 | 11 | 6 | 2018 | 179,72 | 56025 | 933,75 | -0,8703 |
| 10 | 7 | 15 | 6 | 2018 | 179,32 | 61881 | 1031,35 | -0,8948 |
| 10 | 58 | 19 | 6 | 2018 | 179,01 | 67692 | 1128,20 | -0,9138 |
| 12 | 45 | 22 | 6 | 2018 | 178,84 | 72119 | 1201,98 | -0,9242 |
| 9 | 24 | 26 | 6 | 2018 | 178,68 | 77678 | 1294,63 | -0,9340 |
| 10 | 39 | 29 | 6 | 2018 | 178,58 | 82073 | 1367,88 | -0,9401 |
| 15 | 42 | 3 | 7 | 2018 | 178,51 | 88136 | 1468,93 | -0,9444 |
| 16 | 33 | 6 | 7 | 2018 | 178,47 | 92507 | 1541,78 | -0,9469 |
| 15 | 35 | 9 | 7 | 2018 | 178,44 | 96769 | 1612,82 | -0,9487 |
| 10 | 5 | 13 | 7 | 2018 | 178,42 | 102199 | 1703,32 | -0,9499 |
| 11 | 15 | 16 | 7 | 2018 | 178,40 | 106589 | 1776,48 | -0,9512 |
| 10 | 11 | 19 | 7 | 2018 | 178,38 | 110845 | 1847,42 | -0,9524 |
| 10 | 28 | 23 | 7 | 2018 | 178,37 | 116622 | 1943,70 | -0,9530 |

Dados do provete HLA2 3

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 193,92 |
| Secção (cm ²) | 16,32 |
| Altura (cm) | 6,15 |
| Saturação crítica (%) | 42 |

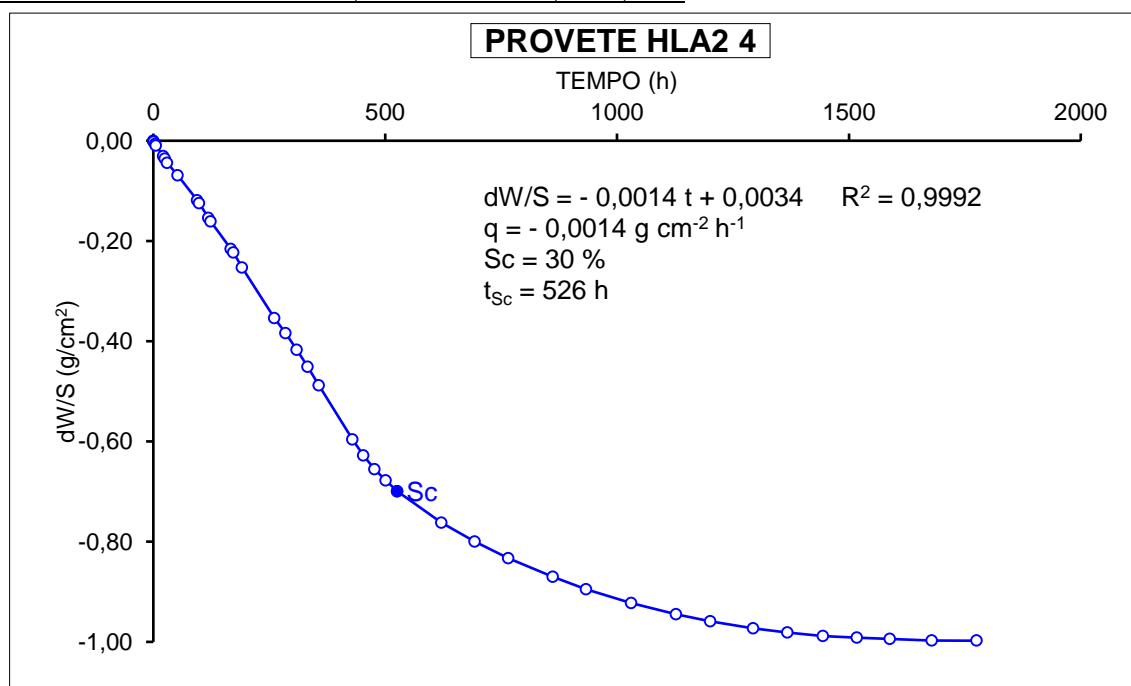


Anexo 20 - Ensaio de evaporação – Provete HLA2 4

| PROVETE HLA2 4 | | | | | | | | |
|----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 17 | 3 | 5 | 2018 | 195,72 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 12 | 5 | 3 | 5 | 2018 | 195,69 | 48 | 0,80 | -0,0018 |
| 15 | 53 | 3 | 5 | 2018 | 195,61 | 276 | 4,60 | -0,0067 |
| 17 | 17 | 3 | 5 | 2018 | 195,56 | 360 | 6,00 | -0,0098 |
| 9 | 0 | 4 | 5 | 2018 | 195,22 | 1303 | 21,72 | -0,0306 |
| 12 | 12 | 4 | 5 | 2018 | 195,13 | 1495 | 24,92 | -0,0361 |
| 17 | 11 | 4 | 5 | 2018 | 195,00 | 1794 | 29,90 | -0,0441 |
| 15 | 59 | 5 | 5 | 2018 | 194,59 | 3162 | 52,70 | -0,0692 |
| 10 | 3 | 7 | 5 | 2018 | 193,78 | 5686 | 94,77 | -0,1187 |
| 13 | 58 | 7 | 5 | 2018 | 193,68 | 5921 | 98,68 | -0,1249 |
| 10 | 5 | 8 | 5 | 2018 | 193,20 | 7128 | 118,80 | -0,1542 |
| 14 | 57 | 8 | 5 | 2018 | 193,09 | 7420 | 123,67 | -0,1610 |
| 10 | 41 | 10 | 5 | 2018 | 192,19 | 10044 | 167,40 | -0,2161 |
| 15 | 54 | 10 | 5 | 2018 | 192,08 | 10357 | 172,62 | -0,2228 |
| 10 | 35 | 11 | 5 | 2018 | 191,58 | 11478 | 191,30 | -0,2534 |
| 8 | 44 | 14 | 5 | 2018 | 189,94 | 15687 | 261,45 | -0,3538 |
| 8 | 43 | 15 | 5 | 2018 | 189,45 | 17126 | 285,43 | -0,3838 |
| 8 | 44 | 16 | 5 | 2018 | 188,90 | 18567 | 309,45 | -0,4174 |
| 8 | 38 | 17 | 5 | 2018 | 188,35 | 20001 | 333,35 | -0,4511 |
| 8 | 40 | 18 | 5 | 2018 | 187,74 | 21443 | 357,38 | -0,4884 |
| 8 | 39 | 21 | 5 | 2018 | 185,98 | 25762 | 429,37 | -0,5961 |
| 8 | 40 | 22 | 5 | 2018 | 185,46 | 27203 | 453,38 | -0,6280 |
| 8 | 38 | 23 | 5 | 2018 | 185,01 | 28641 | 477,35 | -0,6555 |
| 8 | 52 | 24 | 5 | 2018 | 184,64 | 30095 | 501,58 | -0,6782 |
| 9 | 17 | 25 | 5 | 2018 | 184,29 | 31560 | 526,00 | -0,6996 |
| 8 | 44 | 29 | 5 | 2018 | 183,27 | 37287 | 621,45 | -0,7620 |
| 8 | 51 | 1 | 6 | 2018 | 182,65 | 41614 | 693,57 | -0,8000 |
| 8 | 49 | 4 | 6 | 2018 | 182,11 | 45932 | 765,53 | -0,8330 |
| 9 | 7 | 8 | 6 | 2018 | 181,50 | 51710 | 861,83 | -0,8703 |
| 8 | 39 | 11 | 6 | 2018 | 181,10 | 56002 | 933,37 | -0,8948 |
| 10 | 14 | 15 | 6 | 2018 | 180,65 | 61857 | 1030,95 | -0,9224 |
| 11 | 3 | 19 | 6 | 2018 | 180,28 | 67666 | 1127,77 | -0,9450 |
| 12 | 50 | 22 | 6 | 2018 | 180,05 | 72093 | 1201,55 | -0,9591 |
| 9 | 30 | 26 | 6 | 2018 | 179,82 | 77653 | 1294,22 | -0,9732 |
| 10 | 45 | 29 | 6 | 2018 | 179,69 | 82048 | 1367,47 | -0,9811 |
| 15 | 47 | 3 | 7 | 2018 | 179,57 | 86670 | 1444,50 | -0,9885 |
| 16 | 38 | 6 | 7 | 2018 | 179,52 | 91041 | 1517,35 | -0,9915 |
| 15 | 40 | 9 | 7 | 2018 | 179,48 | 95303 | 1588,38 | -0,9940 |
| 10 | 11 | 13 | 7 | 2018 | 179,43 | 100734 | 1678,90 | -0,9970 |
| 11 | 20 | 16 | 7 | 2018 | 179,42 | 106563 | 1776,05 | -0,9976 |
| 10 | 16 | 19 | 7 | 2018 | 179,40 | 110819 | 1846,98 | -0,9989 |
| 10 | 32 | 23 | 7 | 2018 | 179,38 | 116595 | 1943,25 | -1,0001 |

Dados do provete HLA2 4

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 195,72 |
| Secção (cm ²) | 16,34 |
| Altura (cm) | 6,17 |
| Saturação crítica (%) | 30 |

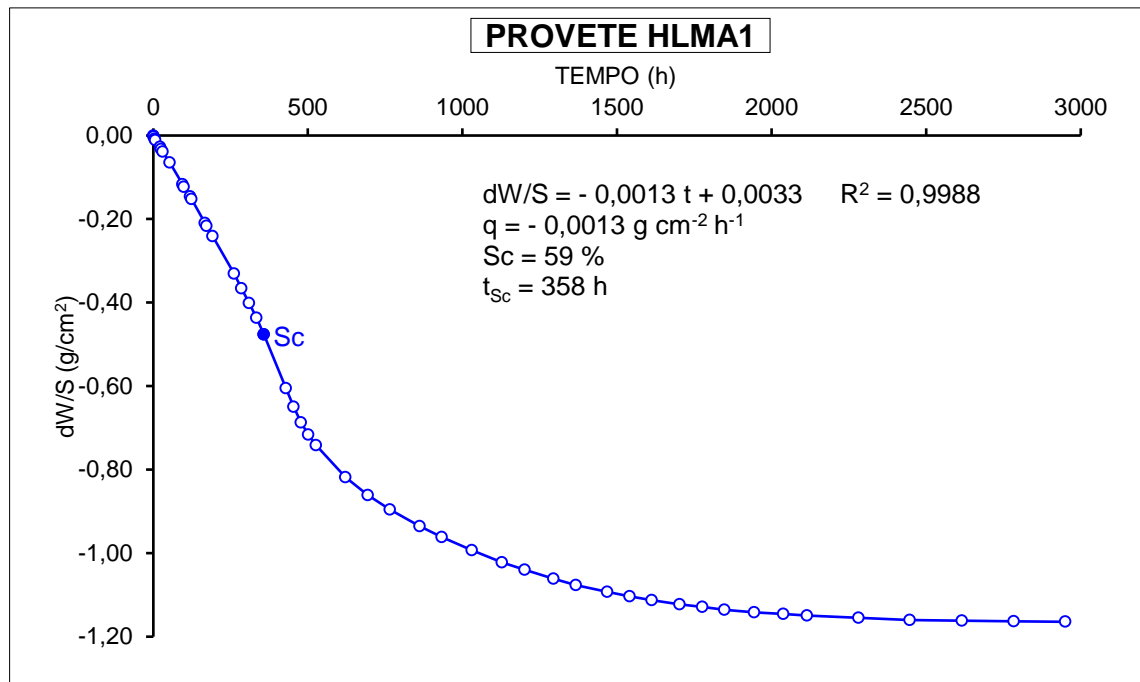


Anexo 21 - Ensaio de evaporação – Provete HLMA 1

| PROVETE HLMA1 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 58 | 3 | 5 | 2018 | 201,52 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 12 | 1 | 3 | 5 | 2018 | 201,48 | 63 | 1,05 | -0,0025 |
| 15 | 49 | 3 | 5 | 2018 | 201,39 | 291 | 4,85 | -0,0081 |
| 17 | 13 | 3 | 5 | 2018 | 201,34 | 375 | 6,25 | -0,0111 |
| 8 | 56 | 4 | 5 | 2018 | 201,08 | 1318 | 21,97 | -0,0273 |
| 12 | 8 | 4 | 5 | 2018 | 201,00 | 1510 | 25,17 | -0,0322 |
| 17 | 7 | 4 | 5 | 2018 | 200,90 | 1809 | 30,15 | -0,0384 |
| 15 | 56 | 5 | 5 | 2018 | 200,47 | 3178 | 52,97 | -0,0650 |
| 9 | 58 | 7 | 5 | 2018 | 199,63 | 5700 | 95,00 | -0,1171 |
| 13 | 54 | 7 | 5 | 2018 | 199,53 | 5936 | 98,93 | -0,1233 |
| 10 | 0 | 8 | 5 | 2018 | 199,16 | 7142 | 119,03 | -0,1462 |
| 14 | 53 | 8 | 5 | 2018 | 199,06 | 7435 | 123,92 | -0,1524 |
| 10 | 35 | 10 | 5 | 2018 | 198,14 | 10057 | 167,62 | -0,2093 |
| 15 | 50 | 10 | 5 | 2018 | 198,03 | 10372 | 172,87 | -0,2162 |
| 10 | 30 | 11 | 5 | 2018 | 197,63 | 11492 | 191,53 | -0,2409 |
| 8 | 40 | 14 | 5 | 2018 | 196,18 | 15702 | 261,70 | -0,3307 |
| 8 | 39 | 15 | 5 | 2018 | 195,61 | 17141 | 285,68 | -0,3660 |
| 8 | 41 | 16 | 5 | 2018 | 195,04 | 18583 | 309,72 | -0,4013 |
| 8 | 34 | 17 | 5 | 2018 | 194,47 | 20016 | 333,60 | -0,4367 |
| 8 | 36 | 18 | 5 | 2018 | 193,83 | 21458 | 357,63 | -0,4763 |
| 8 | 35 | 21 | 5 | 2018 | 191,75 | 25777 | 429,62 | -0,6051 |
| 8 | 36 | 22 | 5 | 2018 | 191,03 | 27218 | 453,63 | -0,6497 |
| 8 | 34 | 23 | 5 | 2018 | 190,43 | 28656 | 477,60 | -0,6869 |
| 8 | 49 | 24 | 5 | 2018 | 189,95 | 30111 | 501,85 | -0,7166 |
| 9 | 13 | 25 | 5 | 2018 | 189,54 | 31575 | 526,25 | -0,7420 |
| 8 | 40 | 29 | 5 | 2018 | 188,31 | 37302 | 621,70 | -0,8182 |
| 8 | 40 | 1 | 6 | 2018 | 187,62 | 41622 | 693,70 | -0,8609 |
| 8 | 43 | 4 | 6 | 2018 | 187,06 | 45945 | 765,75 | -0,8956 |
| 8 | 59 | 8 | 6 | 2018 | 186,41 | 51721 | 862,02 | -0,9359 |
| 8 | 34 | 11 | 6 | 2018 | 185,99 | 56016 | 933,60 | -0,9619 |
| 10 | 10 | 15 | 6 | 2018 | 185,48 | 61872 | 1031,20 | -0,9935 |
| 10 | 59 | 19 | 6 | 2018 | 185,02 | 67681 | 1128,02 | -1,0220 |
| 12 | 47 | 22 | 6 | 2018 | 184,73 | 72109 | 1201,82 | -1,0399 |
| 9 | 27 | 26 | 6 | 2018 | 184,38 | 77669 | 1294,48 | -1,0616 |
| 10 | 41 | 29 | 6 | 2018 | 184,14 | 82063 | 1367,72 | -1,0765 |
| 15 | 44 | 3 | 7 | 2018 | 183,88 | 88126 | 1468,77 | -1,0926 |
| 16 | 35 | 6 | 7 | 2018 | 183,71 | 92497 | 1541,62 | -1,1031 |
| 15 | 37 | 9 | 7 | 2018 | 183,56 | 96759 | 1612,65 | -1,1124 |
| 10 | 7 | 13 | 7 | 2018 | 183,40 | 102189 | 1703,15 | -1,1223 |
| 11 | 17 | 16 | 7 | 2018 | 183,30 | 106579 | 1776,32 | -1,1285 |
| 10 | 13 | 19 | 7 | 2018 | 183,19 | 110835 | 1847,25 | -1,1353 |
| 10 | 29 | 23 | 7 | 2018 | 183,09 | 116611 | 1943,52 | -1,1415 |
| 9 | 26 | 27 | 7 | 2018 | 183,02 | 122308 | 2038,47 | -1,1458 |
| 13 | 56 | 30 | 7 | 2018 | 182,96 | 126898 | 2114,97 | -1,1495 |
| 12 | 43 | 6 | 8 | 2018 | 182,87 | 136905 | 2281,75 | -1,1551 |
| 10 | 42 | 13 | 8 | 2018 | 182,79 | 146864 | 2447,73 | -1,1601 |
| 10 | 49 | 20 | 8 | 2018 | 182,76 | 156951 | 2615,85 | -1,1619 |
| 10 | 58 | 27 | 8 | 2018 | 182,74 | 167040 | 2784,00 | -1,1632 |
| 9 | 31 | 3 | 9 | 2018 | 182,72 | 177033 | 2950,55 | -1,1644 |

Dados do provete HLMA1

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 201,52 |
| Secção (cm ²) | 16,15 |
| Altura (cm) | 5,99 |
| Saturação crítica (%) | 59 |

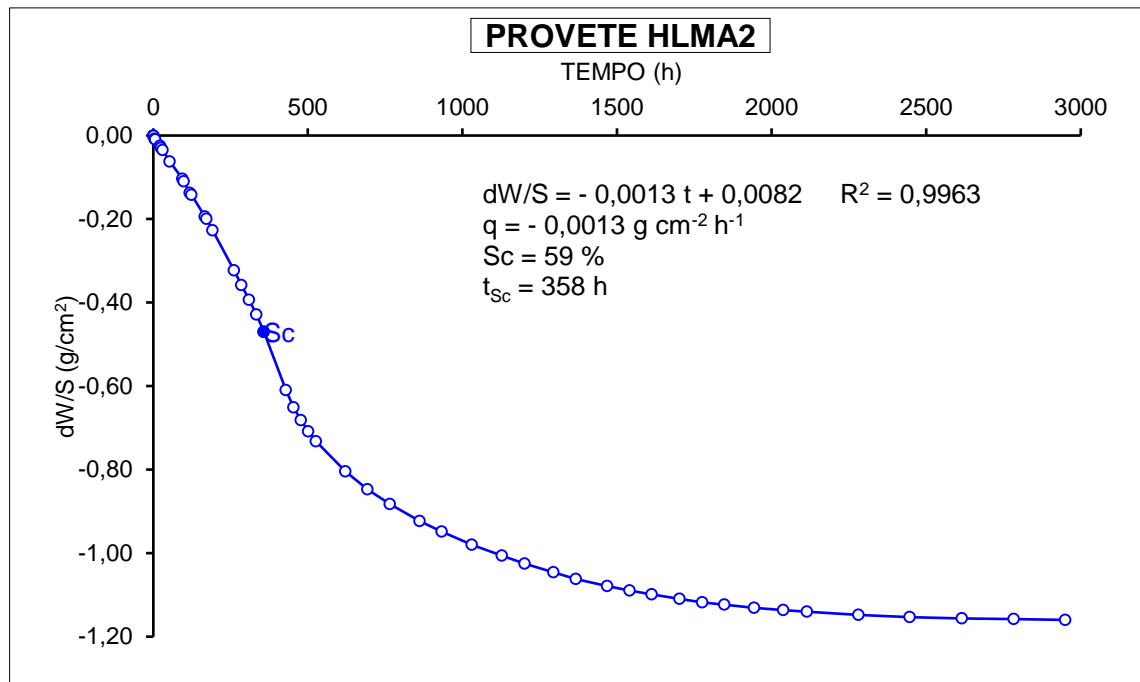


Anexo 22 - Ensaio de evaporação – Provete HLMA 2

| PROVETE HLMA2 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 0 | 3 | 5 | 2018 | 193,25 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 12 | 1 | 3 | 5 | 2018 | 193,23 | 61 | 1,02 | -0,0013 |
| 15 | 50 | 3 | 5 | 2018 | 193,13 | 290 | 4,83 | -0,0078 |
| 17 | 14 | 3 | 5 | 2018 | 193,10 | 374 | 6,23 | -0,0097 |
| 8 | 56 | 4 | 5 | 2018 | 192,87 | 1316 | 21,93 | -0,0247 |
| 12 | 8 | 4 | 5 | 2018 | 192,80 | 1508 | 25,13 | -0,0292 |
| 17 | 7 | 4 | 5 | 2018 | 192,71 | 1807 | 30,12 | -0,0351 |
| 15 | 56 | 5 | 5 | 2018 | 192,29 | 3176 | 52,93 | -0,0623 |
| 9 | 59 | 7 | 5 | 2018 | 191,65 | 5699 | 94,98 | -0,1039 |
| 13 | 54 | 7 | 5 | 2018 | 191,55 | 5934 | 98,90 | -0,1103 |
| 10 | 0 | 8 | 5 | 2018 | 191,13 | 7140 | 119,00 | -0,1376 |
| 14 | 53 | 8 | 5 | 2018 | 191,06 | 7433 | 123,88 | -0,1421 |
| 10 | 36 | 10 | 5 | 2018 | 190,26 | 10056 | 167,60 | -0,1941 |
| 15 | 51 | 10 | 5 | 2018 | 190,17 | 10371 | 172,85 | -0,1999 |
| 10 | 31 | 11 | 5 | 2018 | 189,75 | 11491 | 191,52 | -0,2272 |
| 8 | 40 | 14 | 5 | 2018 | 188,27 | 15700 | 261,67 | -0,3232 |
| 8 | 39 | 15 | 5 | 2018 | 187,73 | 17139 | 285,65 | -0,3583 |
| 8 | 41 | 16 | 5 | 2018 | 187,19 | 18581 | 309,68 | -0,3933 |
| 8 | 34 | 17 | 5 | 2018 | 186,64 | 20014 | 333,57 | -0,4290 |
| 8 | 36 | 18 | 5 | 2018 | 186,01 | 21456 | 357,60 | -0,4699 |
| 8 | 35 | 21 | 5 | 2018 | 183,86 | 25775 | 429,58 | -0,6095 |
| 8 | 36 | 22 | 5 | 2018 | 183,22 | 27216 | 453,60 | -0,6510 |
| 8 | 34 | 23 | 5 | 2018 | 182,74 | 28654 | 477,57 | -0,6822 |
| 8 | 49 | 24 | 5 | 2018 | 182,33 | 30109 | 501,82 | -0,7088 |
| 9 | 14 | 25 | 5 | 2018 | 181,96 | 31574 | 526,23 | -0,7328 |
| 8 | 41 | 29 | 5 | 2018 | 180,85 | 37301 | 621,68 | -0,8049 |
| 8 | 40 | 1 | 6 | 2018 | 180,20 | 41620 | 693,67 | -0,8471 |
| 8 | 44 | 4 | 6 | 2018 | 179,65 | 45944 | 765,73 | -0,8828 |
| 9 | 0 | 8 | 6 | 2018 | 179,03 | 51720 | 862,00 | -0,9230 |
| 8 | 35 | 11 | 6 | 2018 | 178,63 | 56015 | 933,58 | -0,9490 |
| 10 | 10 | 15 | 6 | 2018 | 178,15 | 61870 | 1031,17 | -0,9801 |
| 11 | 0 | 19 | 6 | 2018 | 177,75 | 67680 | 1128,00 | -1,0061 |
| 12 | 47 | 22 | 6 | 2018 | 177,46 | 72107 | 1201,78 | -1,0249 |
| 9 | 27 | 26 | 6 | 2018 | 177,13 | 77667 | 1294,45 | -1,0463 |
| 10 | 42 | 29 | 6 | 2018 | 176,89 | 82062 | 1367,70 | -1,0619 |
| 15 | 44 | 3 | 7 | 2018 | 176,63 | 88124 | 1468,73 | -1,0788 |
| 16 | 35 | 6 | 7 | 2018 | 176,46 | 92495 | 1541,58 | -1,0898 |
| 15 | 38 | 9 | 7 | 2018 | 176,32 | 96758 | 1612,63 | -1,0989 |
| 10 | 7 | 13 | 7 | 2018 | 176,15 | 102187 | 1703,12 | -1,1099 |
| 11 | 18 | 16 | 7 | 2018 | 176,03 | 106578 | 1776,30 | -1,1177 |
| 10 | 14 | 19 | 7 | 2018 | 175,94 | 110834 | 1847,23 | -1,1236 |
| 10 | 30 | 23 | 7 | 2018 | 175,82 | 116610 | 1943,50 | -1,1313 |
| 9 | 27 | 27 | 7 | 2018 | 175,74 | 122307 | 2038,45 | -1,1365 |
| 13 | 57 | 30 | 7 | 2018 | 175,68 | 126897 | 2114,95 | -1,1404 |
| 12 | 43 | 6 | 8 | 2018 | 175,57 | 136903 | 2281,72 | -1,1476 |
| 10 | 43 | 13 | 8 | 2018 | 175,48 | 146863 | 2447,72 | -1,1534 |
| 10 | 49 | 20 | 8 | 2018 | 175,44 | 156949 | 2615,82 | -1,1560 |
| 10 | 59 | 27 | 8 | 2018 | 175,41 | 167039 | 2783,98 | -1,1580 |
| 9 | 31 | 3 | 9 | 2018 | 175,38 | 177031 | 2950,52 | -1,1599 |

Dados do provete HLMA2

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 193,25 |
| Secção (cm ²) | 15,41 |
| Altura (cm) | 6,01 |
| Saturação crítica (%) | 59 |

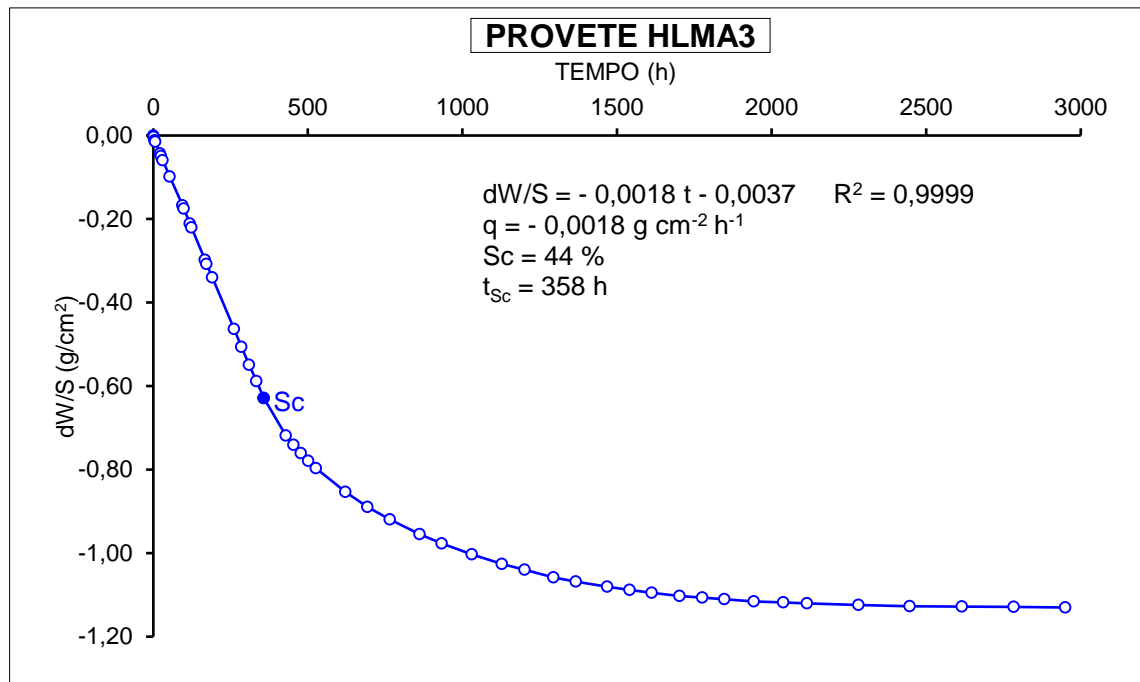


Anexo 23 - Ensaio de evaporação – Provete HLMA 3

| PROVETE HLMA3 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 2 | 3 | 5 | 2018 | 204,90 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 12 | 2 | 3 | 5 | 2018 | 204,85 | 60 | 1,00 | -0,0031 |
| 15 | 50 | 3 | 5 | 2018 | 204,71 | 288 | 4,80 | -0,0117 |
| 17 | 14 | 3 | 5 | 2018 | 204,66 | 372 | 6,20 | -0,0148 |
| 8 | 56 | 4 | 5 | 2018 | 204,20 | 1314 | 21,90 | -0,0432 |
| 12 | 9 | 4 | 5 | 2018 | 204,10 | 1507 | 25,12 | -0,0494 |
| 17 | 8 | 4 | 5 | 2018 | 203,94 | 1806 | 30,10 | -0,0592 |
| 15 | 56 | 5 | 5 | 2018 | 203,30 | 3174 | 52,90 | -0,0987 |
| 9 | 59 | 7 | 5 | 2018 | 202,19 | 5697 | 94,95 | -0,1672 |
| 13 | 54 | 7 | 5 | 2018 | 202,06 | 5932 | 98,87 | -0,1752 |
| 10 | 1 | 8 | 5 | 2018 | 201,48 | 7139 | 118,98 | -0,2110 |
| 14 | 53 | 8 | 5 | 2018 | 201,33 | 7431 | 123,85 | -0,2202 |
| 10 | 36 | 10 | 5 | 2018 | 200,07 | 10054 | 167,57 | -0,2980 |
| 15 | 51 | 10 | 5 | 2018 | 199,91 | 10369 | 172,82 | -0,3078 |
| 10 | 31 | 11 | 5 | 2018 | 199,39 | 11489 | 191,48 | -0,3399 |
| 8 | 41 | 14 | 5 | 2018 | 197,39 | 15699 | 261,65 | -0,4633 |
| 8 | 40 | 15 | 5 | 2018 | 196,69 | 17138 | 285,63 | -0,5065 |
| 8 | 41 | 16 | 5 | 2018 | 196,00 | 18579 | 309,65 | -0,5491 |
| 8 | 35 | 17 | 5 | 2018 | 195,36 | 20013 | 333,55 | -0,5885 |
| 8 | 36 | 18 | 5 | 2018 | 194,70 | 21454 | 357,57 | -0,6293 |
| 8 | 36 | 21 | 5 | 2018 | 193,25 | 25774 | 429,57 | -0,7187 |
| 8 | 37 | 22 | 5 | 2018 | 192,89 | 27215 | 453,58 | -0,7409 |
| 8 | 35 | 23 | 5 | 2018 | 192,57 | 28653 | 477,55 | -0,7607 |
| 8 | 50 | 24 | 5 | 2018 | 192,27 | 30108 | 501,80 | -0,7792 |
| 9 | 14 | 25 | 5 | 2018 | 191,98 | 31572 | 526,20 | -0,7971 |
| 8 | 41 | 29 | 5 | 2018 | 191,06 | 37299 | 621,65 | -0,8538 |
| 8 | 40 | 1 | 6 | 2018 | 190,48 | 41618 | 693,63 | -0,8896 |
| 8 | 44 | 4 | 6 | 2018 | 189,99 | 45942 | 765,70 | -0,9198 |
| 9 | 1 | 8 | 6 | 2018 | 189,42 | 51719 | 861,98 | -0,9550 |
| 8 | 35 | 11 | 6 | 2018 | 189,06 | 56013 | 933,55 | -0,9772 |
| 10 | 11 | 15 | 6 | 2018 | 188,64 | 61869 | 1031,15 | -1,0031 |
| 11 | 0 | 19 | 6 | 2018 | 188,27 | 67678 | 1127,97 | -1,0259 |
| 12 | 47 | 22 | 6 | 2018 | 188,04 | 72105 | 1201,75 | -1,0401 |
| 9 | 28 | 26 | 6 | 2018 | 187,75 | 77666 | 1294,43 | -1,0580 |
| 10 | 42 | 29 | 6 | 2018 | 187,58 | 82060 | 1367,67 | -1,0685 |
| 15 | 45 | 3 | 7 | 2018 | 187,38 | 88123 | 1468,72 | -1,0808 |
| 16 | 35 | 6 | 7 | 2018 | 187,26 | 92493 | 1541,55 | -1,0882 |
| 15 | 38 | 9 | 7 | 2018 | 187,15 | 96756 | 1612,60 | -1,0950 |
| 10 | 7 | 13 | 7 | 2018 | 187,03 | 102185 | 1703,08 | -1,1024 |
| 11 | 18 | 16 | 7 | 2018 | 186,96 | 106576 | 1776,27 | -1,1067 |
| 10 | 14 | 19 | 7 | 2018 | 186,90 | 110832 | 1847,20 | -1,1104 |
| 10 | 30 | 23 | 7 | 2018 | 186,82 | 116608 | 1943,47 | -1,1154 |
| 9 | 27 | 27 | 7 | 2018 | 186,78 | 122305 | 2038,42 | -1,1178 |
| 13 | 57 | 30 | 7 | 2018 | 186,74 | 126895 | 2114,92 | -1,1203 |
| 12 | 43 | 6 | 8 | 2018 | 186,68 | 136901 | 2281,68 | -1,1240 |
| 10 | 43 | 13 | 8 | 2018 | 186,63 | 146861 | 2447,68 | -1,1271 |
| 10 | 50 | 20 | 8 | 2018 | 186,61 | 156948 | 2615,80 | -1,1283 |
| 10 | 59 | 27 | 8 | 2018 | 186,60 | 167037 | 2783,95 | -1,1290 |
| 9 | 32 | 3 | 9 | 2018 | 186,58 | 177030 | 2950,50 | -1,1302 |

Dados do provete HLMA3

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 204,90 |
| Secção (cm ²) | 16,21 |
| Altura (cm) | 6,09 |
| Saturação crítica (%) | 44 |

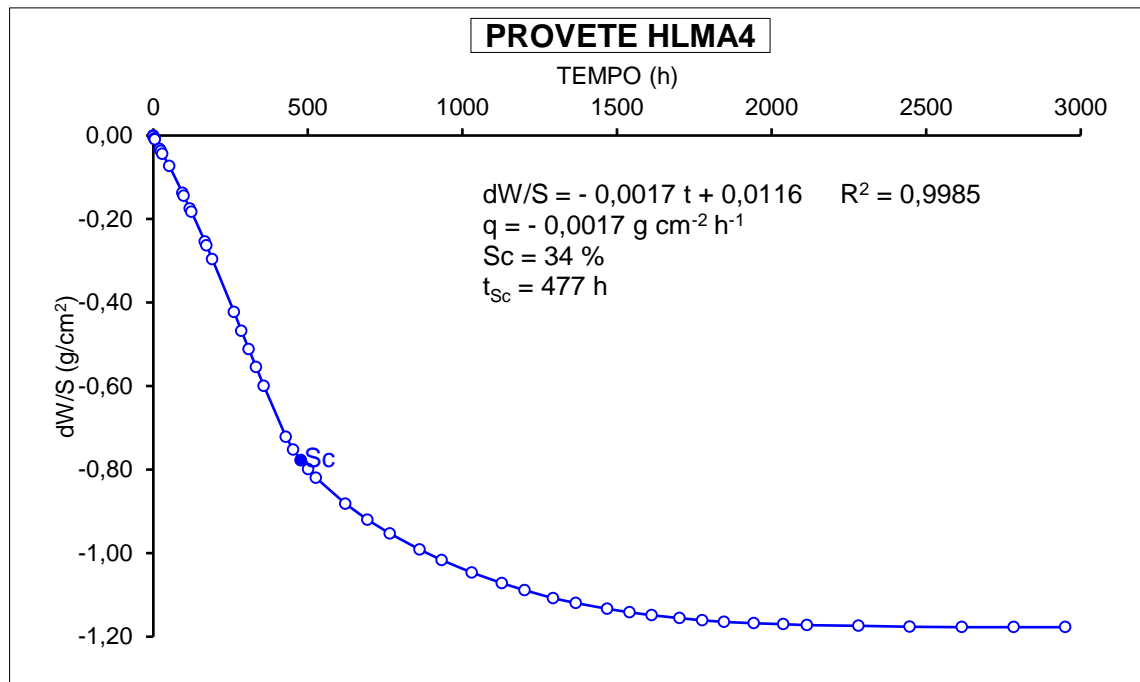


Anexo 24 - Ensaio de evaporação – Provete HLMA 4

| PROVETE HLMA4 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 19 | 3 | 5 | 2018 | 201,19 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 12 | 5 | 3 | 5 | 2018 | 201,16 | 46 | 0,77 | -0,0019 |
| 15 | 54 | 3 | 5 | 2018 | 201,07 | 275 | 4,58 | -0,0074 |
| 17 | 17 | 3 | 5 | 2018 | 201,03 | 358 | 5,97 | -0,0099 |
| 9 | 0 | 4 | 5 | 2018 | 200,66 | 1301 | 21,68 | -0,0328 |
| 12 | 12 | 4 | 5 | 2018 | 200,59 | 1493 | 24,88 | -0,0371 |
| 17 | 11 | 4 | 5 | 2018 | 200,48 | 1792 | 29,87 | -0,0439 |
| 15 | 59 | 5 | 5 | 2018 | 200,00 | 3160 | 52,67 | -0,0735 |
| 10 | 3 | 7 | 5 | 2018 | 198,96 | 5684 | 94,73 | -0,1378 |
| 13 | 58 | 7 | 5 | 2018 | 198,85 | 5919 | 98,65 | -0,1446 |
| 10 | 5 | 8 | 5 | 2018 | 198,36 | 7126 | 118,77 | -0,1749 |
| 14 | 57 | 8 | 5 | 2018 | 198,23 | 7418 | 123,63 | -0,1829 |
| 10 | 41 | 10 | 5 | 2018 | 197,08 | 10042 | 167,37 | -0,2540 |
| 15 | 54 | 10 | 5 | 2018 | 196,93 | 10355 | 172,58 | -0,2633 |
| 10 | 35 | 11 | 5 | 2018 | 196,40 | 11476 | 191,27 | -0,2960 |
| 8 | 45 | 14 | 5 | 2018 | 194,35 | 15686 | 261,43 | -0,4227 |
| 8 | 43 | 15 | 5 | 2018 | 193,62 | 17124 | 285,40 | -0,4678 |
| 8 | 45 | 16 | 5 | 2018 | 192,91 | 18566 | 309,43 | -0,5117 |
| 8 | 38 | 17 | 5 | 2018 | 192,21 | 19999 | 333,32 | -0,5550 |
| 8 | 40 | 18 | 5 | 2018 | 191,49 | 21441 | 357,35 | -0,5995 |
| 8 | 39 | 21 | 5 | 2018 | 189,51 | 25760 | 429,33 | -0,7218 |
| 8 | 40 | 22 | 5 | 2018 | 189,02 | 27201 | 453,35 | -0,7521 |
| 8 | 38 | 23 | 5 | 2018 | 188,61 | 28639 | 477,32 | -0,7774 |
| 8 | 53 | 24 | 5 | 2018 | 188,26 | 30094 | 501,57 | -0,7991 |
| 9 | 18 | 25 | 5 | 2018 | 187,93 | 31559 | 525,98 | -0,8195 |
| 8 | 44 | 29 | 5 | 2018 | 186,92 | 37285 | 621,42 | -0,8819 |
| 8 | 52 | 1 | 6 | 2018 | 186,30 | 41613 | 693,55 | -0,9202 |
| 8 | 49 | 4 | 6 | 2018 | 185,76 | 45930 | 765,50 | -0,9536 |
| 9 | 8 | 8 | 6 | 2018 | 185,14 | 51709 | 861,82 | -0,9919 |
| 8 | 39 | 11 | 6 | 2018 | 184,73 | 56000 | 933,33 | -1,0172 |
| 10 | 14 | 15 | 6 | 2018 | 184,25 | 61855 | 1030,92 | -1,0469 |
| 11 | 3 | 19 | 6 | 2018 | 183,84 | 67664 | 1127,73 | -1,0722 |
| 12 | 50 | 22 | 6 | 2018 | 183,57 | 72091 | 1201,52 | -1,0889 |
| 9 | 31 | 26 | 6 | 2018 | 183,26 | 77652 | 1294,20 | -1,1081 |
| 10 | 45 | 29 | 6 | 2018 | 183,07 | 82046 | 1367,43 | -1,1198 |
| 15 | 47 | 3 | 7 | 2018 | 182,85 | 88108 | 1468,47 | -1,1334 |
| 16 | 38 | 6 | 7 | 2018 | 182,72 | 92479 | 1541,32 | -1,1415 |
| 15 | 41 | 9 | 7 | 2018 | 182,60 | 96742 | 1612,37 | -1,1489 |
| 10 | 11 | 13 | 7 | 2018 | 182,49 | 102172 | 1702,87 | -1,1557 |
| 11 | 20 | 16 | 7 | 2018 | 182,41 | 106561 | 1776,02 | -1,1606 |
| 10 | 17 | 19 | 7 | 2018 | 182,34 | 110818 | 1846,97 | -1,1649 |
| 10 | 32 | 23 | 7 | 2018 | 182,29 | 116593 | 1943,22 | -1,1680 |
| 9 | 29 | 27 | 7 | 2018 | 182,25 | 122290 | 2038,17 | -1,1705 |
| 13 | 58 | 30 | 7 | 2018 | 182,22 | 126879 | 2114,65 | -1,1724 |
| 12 | 44 | 6 | 8 | 2018 | 182,19 | 136885 | 2281,42 | -1,1742 |
| 10 | 45 | 13 | 8 | 2018 | 182,15 | 146846 | 2447,43 | -1,1767 |
| 10 | 52 | 20 | 8 | 2018 | 182,14 | 156933 | 2615,55 | -1,1773 |
| 11 | 0 | 27 | 8 | 2018 | 182,14 | 167021 | 2783,68 | -1,1773 |
| 9 | 33 | 3 | 9 | 2018 | 182,14 | 177014 | 2950,23 | -1,1773 |

Dados do provete HLMA4

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 201,19 |
| Secção (cm ²) | 16,18 |
| Altura (cm) | 5,98 |
| Saturação crítica (%) | 34 |

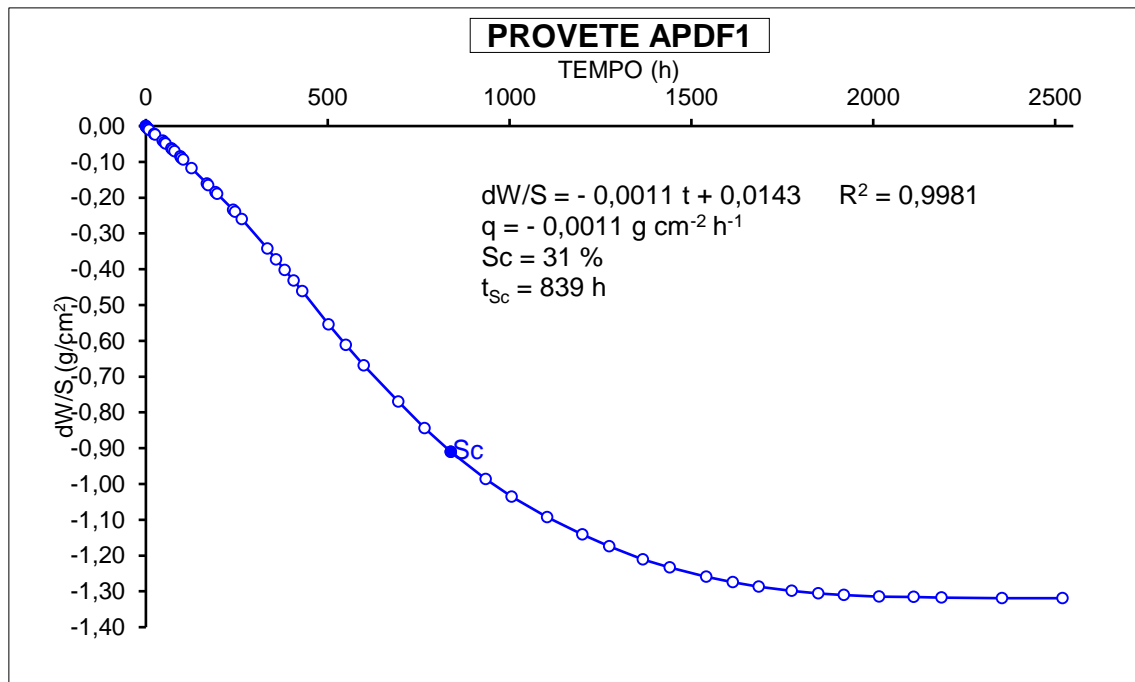


Anexo 25 - Ensaio de evaporação – Provete APDF1 1

| PROVETE APDF1 1 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 15 | 30 | 4 | 2018 | 201,17 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 44 | 30 | 4 | 2018 | 201,15 | 29 | 0,48 | -0,0013 |
| 11 | 56 | 30 | 4 | 2018 | 201,13 | 101 | 1,68 | -0,0026 |
| 14 | 8 | 30 | 4 | 2018 | 201,09 | 233 | 3,88 | -0,0051 |
| 16 | 30 | 30 | 4 | 2018 | 201,05 | 375 | 6,25 | -0,0077 |
| 19 | 13 | 30 | 4 | 2018 | 201,00 | 538 | 8,97 | -0,0108 |
| 9 | 13 | 1 | 5 | 2018 | 200,82 | 1378 | 22,97 | -0,0223 |
| 11 | 43 | 1 | 5 | 2018 | 200,79 | 1528 | 25,47 | -0,0242 |
| 8 | 42 | 2 | 5 | 2018 | 200,53 | 2787 | 46,45 | -0,0408 |
| 13 | 39 | 2 | 5 | 2018 | 200,46 | 3084 | 51,40 | -0,0453 |
| 16 | 38 | 2 | 5 | 2018 | 200,40 | 3263 | 54,38 | -0,0491 |
| 8 | 43 | 3 | 5 | 2018 | 200,19 | 4228 | 70,47 | -0,0625 |
| 12 | 7 | 3 | 5 | 2018 | 200,13 | 4432 | 73,87 | -0,0663 |
| 17 | 18 | 3 | 5 | 2018 | 200,06 | 4743 | 79,05 | -0,0708 |
| 9 | 2 | 4 | 5 | 2018 | 199,83 | 5687 | 94,78 | -0,0854 |
| 12 | 14 | 4 | 5 | 2018 | 199,77 | 5879 | 97,98 | -0,0893 |
| 17 | 13 | 4 | 5 | 2018 | 199,69 | 6178 | 102,97 | -0,0944 |
| 16 | 0 | 5 | 5 | 2018 | 199,32 | 7545 | 125,75 | -0,1179 |
| 10 | 5 | 7 | 5 | 2018 | 198,64 | 10070 | 167,83 | -0,1613 |
| 14 | 0 | 7 | 5 | 2018 | 198,57 | 10305 | 171,75 | -0,1658 |
| 10 | 7 | 8 | 5 | 2018 | 198,26 | 11512 | 191,87 | -0,1855 |
| 15 | 0 | 8 | 5 | 2018 | 198,19 | 11805 | 196,75 | -0,1900 |
| 10 | 43 | 10 | 5 | 2018 | 197,50 | 14428 | 240,47 | -0,2340 |
| 15 | 56 | 10 | 5 | 2018 | 197,41 | 14741 | 245,68 | -0,2397 |
| 10 | 37 | 11 | 5 | 2018 | 197,08 | 15862 | 264,37 | -0,2607 |
| 8 | 47 | 14 | 5 | 2018 | 195,79 | 20072 | 334,53 | -0,3430 |
| 8 | 46 | 15 | 5 | 2018 | 195,32 | 21511 | 358,52 | -0,3729 |
| 8 | 47 | 16 | 5 | 2018 | 194,85 | 22952 | 382,53 | -0,4029 |
| 8 | 40 | 17 | 5 | 2018 | 194,39 | 24385 | 406,42 | -0,4322 |
| 8 | 42 | 18 | 5 | 2018 | 193,93 | 25827 | 430,45 | -0,4616 |
| 8 | 41 | 21 | 5 | 2018 | 192,47 | 30146 | 502,43 | -0,5546 |
| 8 | 41 | 23 | 5 | 2018 | 191,58 | 33026 | 550,43 | -0,6114 |
| 9 | 20 | 25 | 5 | 2018 | 190,68 | 35945 | 599,08 | -0,6688 |
| 8 | 46 | 29 | 5 | 2018 | 189,09 | 41671 | 694,52 | -0,7701 |
| 8 | 56 | 1 | 6 | 2018 | 187,92 | 46001 | 766,68 | -0,8447 |
| 8 | 51 | 4 | 6 | 2018 | 186,89 | 50316 | 838,60 | -0,9104 |
| 9 | 12 | 8 | 6 | 2018 | 185,69 | 56097 | 934,95 | -0,9869 |
| 8 | 41 | 11 | 6 | 2018 | 184,92 | 60386 | 1006,43 | -1,0360 |
| 10 | 16 | 15 | 6 | 2018 | 184,03 | 66241 | 1104,02 | -1,0927 |
| 11 | 4 | 19 | 6 | 2018 | 183,27 | 72049 | 1200,82 | -1,1412 |
| 12 | 53 | 22 | 6 | 2018 | 182,75 | 76478 | 1274,63 | -1,1743 |
| 9 | 32 | 26 | 6 | 2018 | 182,18 | 82037 | 1367,28 | -1,2106 |
| 10 | 47 | 29 | 6 | 2018 | 181,83 | 86432 | 1440,53 | -1,2330 |
| 15 | 48 | 3 | 7 | 2018 | 181,41 | 92493 | 1541,55 | -1,2597 |
| 16 | 39 | 6 | 7 | 2018 | 181,18 | 96864 | 1614,40 | -1,2744 |
| 15 | 42 | 9 | 7 | 2018 | 180,98 | 101127 | 1685,45 | -1,2871 |
| 10 | 13 | 13 | 7 | 2018 | 180,8 | 106558 | 1775,97 | -1,2986 |
| 11 | 22 | 16 | 7 | 2018 | 180,69 | 110947 | 1849,12 | -1,3056 |
| 10 | 18 | 19 | 7 | 2018 | 180,61 | 115203 | 1920,05 | -1,3107 |
| 10 | 33 | 23 | 7 | 2018 | 180,55 | 120978 | 2016,30 | -1,3146 |
| 9 | 30 | 27 | 7 | 2018 | 180,53 | 126675 | 2111,25 | -1,3158 |
| 13 | 59 | 30 | 7 | 2018 | 180,51 | 131264 | 2187,73 | -1,3171 |
| 12 | 45 | 6 | 8 | 2018 | 180,48 | 141270 | 2354,50 | -1,3190 |
| 10 | 46 | 13 | 8 | 2018 | 180,48 | 151231 | 2520,52 | -1,3190 |

Dados do provete APDF1 1

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 201,17 |
| Secção (cm²) | 15,69 |
| Altura (cm) | 6,02 |
| Saturação crítica (%) | 31 |

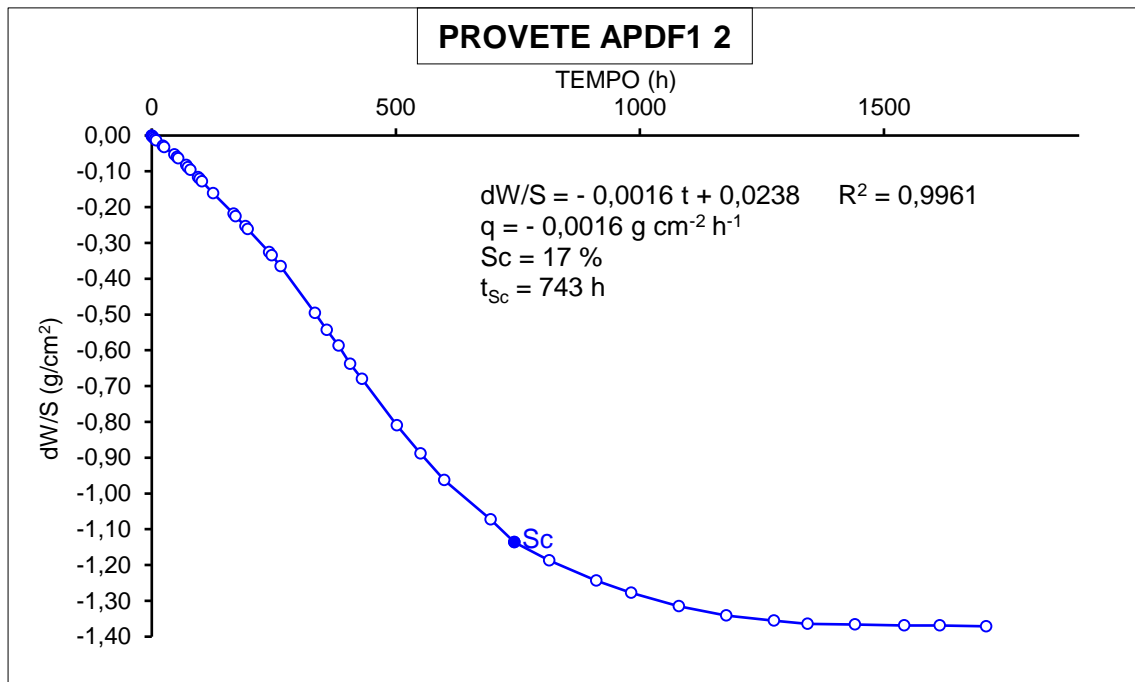


Anexo 26 - Ensaio de evaporação – Provete APDF1 2

| PROVETE APDF1 2 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 17 | 30 | 4 | 2018 | 194,32 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 44 | 30 | 4 | 2018 | 194,29 | 27 | 0,45 | -0,0020 |
| 11 | 56 | 30 | 4 | 2018 | 194,27 | 99 | 1,65 | -0,0033 |
| 14 | 8 | 30 | 4 | 2018 | 194,22 | 231 | 3,85 | -0,0067 |
| 16 | 30 | 30 | 4 | 2018 | 194,17 | 373 | 6,22 | -0,0100 |
| 19 | 13 | 30 | 4 | 2018 | 194,11 | 536 | 8,93 | -0,0141 |
| 9 | 14 | 1 | 5 | 2018 | 193,88 | 1377 | 22,95 | -0,0295 |
| 11 | 44 | 1 | 5 | 2018 | 193,83 | 1527 | 25,45 | -0,0328 |
| 8 | 43 | 2 | 5 | 2018 | 193,52 | 2786 | 46,43 | -0,0536 |
| 13 | 39 | 2 | 5 | 2018 | 193,42 | 3082 | 51,37 | -0,0603 |
| 16 | 39 | 2 | 5 | 2018 | 193,36 | 3262 | 54,37 | -0,0643 |
| 8 | 43 | 3 | 5 | 2018 | 193,08 | 4226 | 70,43 | -0,0831 |
| 12 | 8 | 3 | 5 | 2018 | 192,99 | 4431 | 73,85 | -0,0891 |
| 17 | 19 | 3 | 5 | 2018 | 192,89 | 4742 | 79,03 | -0,0958 |
| 9 | 3 | 4 | 5 | 2018 | 192,58 | 5686 | 94,77 | -0,1165 |
| 12 | 14 | 4 | 5 | 2018 | 192,51 | 5877 | 97,95 | -0,1212 |
| 17 | 14 | 4 | 5 | 2018 | 192,40 | 6177 | 102,95 | -0,1286 |
| 16 | 0 | 5 | 5 | 2018 | 191,91 | 7543 | 125,72 | -0,1614 |
| 10 | 6 | 7 | 5 | 2018 | 191,05 | 10069 | 167,82 | -0,2190 |
| 14 | 1 | 7 | 5 | 2018 | 190,95 | 10304 | 171,73 | -0,2257 |
| 10 | 8 | 8 | 5 | 2018 | 190,53 | 11511 | 191,85 | -0,2538 |
| 15 | 0 | 8 | 5 | 2018 | 190,42 | 11803 | 196,72 | -0,2612 |
| 10 | 44 | 10 | 5 | 2018 | 189,45 | 14427 | 240,45 | -0,3262 |
| 15 | 56 | 10 | 5 | 2018 | 189,32 | 14739 | 245,65 | -0,3349 |
| 10 | 38 | 11 | 5 | 2018 | 188,86 | 15861 | 264,35 | -0,3657 |
| 8 | 48 | 14 | 5 | 2018 | 186,91 | 20071 | 334,52 | -0,4963 |
| 8 | 47 | 15 | 5 | 2018 | 186,21 | 21510 | 358,50 | -0,5432 |
| 8 | 47 | 16 | 5 | 2018 | 185,55 | 22950 | 382,50 | -0,5874 |
| 8 | 41 | 17 | 5 | 2018 | 184,79 | 24384 | 406,40 | -0,6383 |
| 8 | 42 | 18 | 5 | 2018 | 184,16 | 25825 | 430,42 | -0,6805 |
| 8 | 41 | 21 | 5 | 2018 | 182,23 | 30144 | 502,40 | -0,8098 |
| 8 | 41 | 23 | 5 | 2018 | 181,05 | 33024 | 550,40 | -0,8888 |
| 9 | 20 | 25 | 5 | 2018 | 179,95 | 35943 | 599,05 | -0,9625 |
| 8 | 46 | 29 | 5 | 2018 | 178,31 | 41669 | 694,48 | -1,0723 |
| 8 | 56 | 1 | 6 | 2018 | 177,35 | 44559 | 742,65 | -1,1366 |
| 8 | 51 | 4 | 6 | 2018 | 176,59 | 48874 | 814,57 | -1,1875 |
| 9 | 13 | 8 | 6 | 2018 | 175,75 | 54656 | 910,93 | -1,2438 |
| 8 | 42 | 11 | 6 | 2018 | 175,24 | 58945 | 982,42 | -1,2780 |
| 10 | 16 | 15 | 6 | 2018 | 174,69 | 64799 | 1079,98 | -1,3148 |
| 11 | 5 | 19 | 6 | 2018 | 174,30 | 70608 | 1176,80 | -1,3409 |
| 12 | 53 | 22 | 6 | 2018 | 174,09 | 76476 | 1274,60 | -1,3550 |
| 9 | 33 | 26 | 6 | 2018 | 173,95 | 80596 | 1343,27 | -1,3644 |
| 10 | 47 | 29 | 6 | 2018 | 173,92 | 86430 | 1440,50 | -1,3664 |
| 15 | 48 | 3 | 7 | 2018 | 173,88 | 92491 | 1541,52 | -1,3690 |
| 16 | 40 | 6 | 7 | 2018 | 173,88 | 96863 | 1614,38 | -1,3690 |
| 15 | 42 | 9 | 7 | 2018 | 173,85 | 102565 | 1709,42 | -1,3711 |
| 10 | 13 | 13 | 7 | 2018 | 173,83 | 107996 | 1799,93 | -1,3724 |
| 11 | 22 | 16 | 7 | 2018 | 173,83 | 112385 | 1873,08 | -1,3724 |

Dados do provete APDF1 2

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 194,32 |
| Secção (cm ²) | 14,93 |
| Altura (cm) | 6,17 |
| Saturação crítica (%) | 17 |

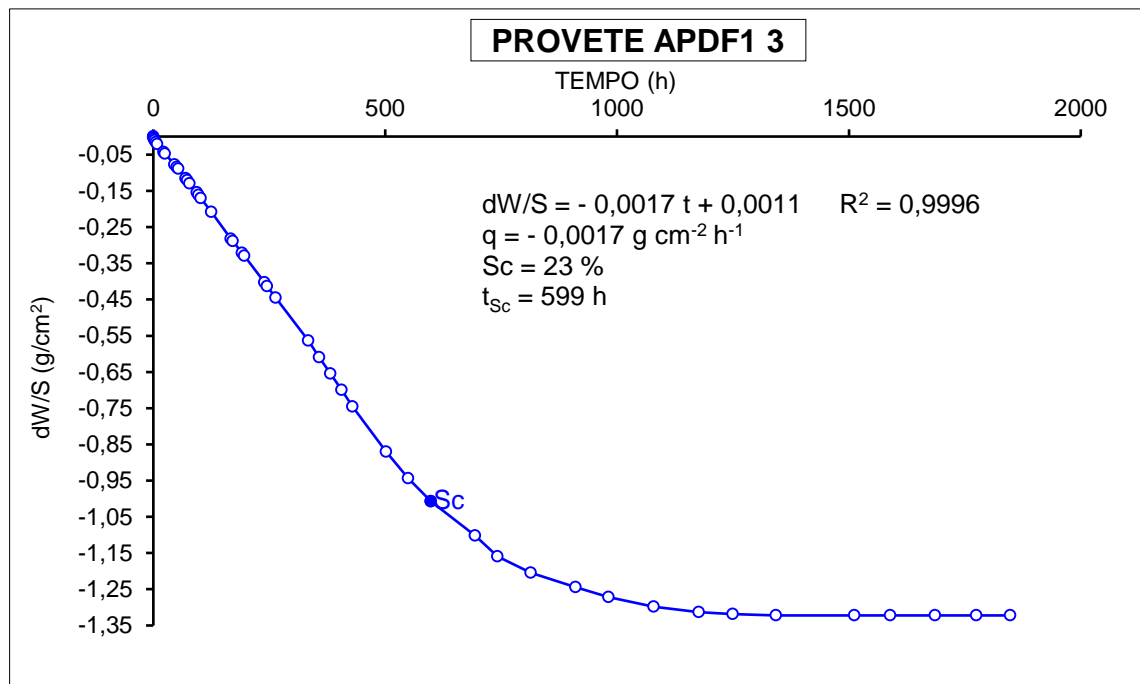


Anexo 27 - Ensaio de evaporação – Provete APDF1 3

| PROVETE APDF1 3 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 50 | 30 | 4 | 2018 | 188,56 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 16 | 30 | 4 | 2018 | 188,52 | 26 | 0,43 | -0,0027 |
| 12 | 33 | 30 | 4 | 2018 | 188,47 | 103 | 1,72 | -0,0060 |
| 14 | 14 | 30 | 4 | 2018 | 188,40 | 204 | 3,40 | -0,0107 |
| 16 | 34 | 30 | 4 | 2018 | 188,33 | 344 | 5,73 | -0,0153 |
| 19 | 17 | 30 | 4 | 2018 | 188,25 | 507 | 8,45 | -0,0206 |
| 9 | 22 | 1 | 5 | 2018 | 187,91 | 1352 | 22,53 | -0,0433 |
| 11 | 47 | 1 | 5 | 2018 | 187,85 | 1497 | 24,95 | -0,0473 |
| 8 | 50 | 2 | 5 | 2018 | 187,40 | 2760 | 46,00 | -0,0773 |
| 13 | 46 | 2 | 5 | 2018 | 187,29 | 3056 | 50,93 | -0,0846 |
| 16 | 45 | 2 | 5 | 2018 | 187,22 | 3235 | 53,92 | -0,0893 |
| 8 | 50 | 3 | 5 | 2018 | 186,83 | 4200 | 70,00 | -0,1152 |
| 12 | 14 | 3 | 5 | 2018 | 186,75 | 4404 | 73,40 | -0,1206 |
| 17 | 23 | 3 | 5 | 2018 | 186,61 | 4713 | 78,55 | -0,1299 |
| 9 | 10 | 4 | 5 | 2018 | 186,24 | 5660 | 94,33 | -0,1545 |
| 12 | 20 | 4 | 5 | 2018 | 186,14 | 5850 | 97,50 | -0,1612 |
| 17 | 20 | 4 | 5 | 2018 | 186,00 | 6150 | 102,50 | -0,1705 |
| 16 | 3 | 5 | 5 | 2018 | 185,43 | 7513 | 125,22 | -0,2085 |
| 10 | 13 | 7 | 5 | 2018 | 184,32 | 10043 | 167,38 | -0,2824 |
| 14 | 8 | 7 | 5 | 2018 | 184,22 | 10278 | 171,30 | -0,2891 |
| 10 | 15 | 8 | 5 | 2018 | 183,73 | 11485 | 191,42 | -0,3217 |
| 15 | 7 | 8 | 5 | 2018 | 183,61 | 11777 | 196,28 | -0,3297 |
| 10 | 52 | 10 | 5 | 2018 | 182,51 | 14402 | 240,03 | -0,4030 |
| 16 | 2 | 10 | 5 | 2018 | 182,36 | 14712 | 245,20 | -0,4130 |
| 10 | 44 | 11 | 5 | 2018 | 181,88 | 15834 | 263,90 | -0,4450 |
| 8 | 55 | 14 | 5 | 2018 | 180,10 | 20045 | 334,08 | -0,5635 |
| 8 | 57 | 15 | 5 | 2018 | 179,41 | 21487 | 358,12 | -0,6095 |
| 8 | 55 | 16 | 5 | 2018 | 178,73 | 22925 | 382,08 | -0,6548 |
| 8 | 48 | 17 | 5 | 2018 | 178,05 | 24358 | 405,97 | -0,7001 |
| 8 | 50 | 18 | 5 | 2018 | 177,37 | 25800 | 430,00 | -0,7454 |
| 8 | 49 | 21 | 5 | 2018 | 175,49 | 30119 | 501,98 | -0,8706 |
| 8 | 46 | 23 | 5 | 2018 | 174,39 | 32996 | 549,93 | -0,9439 |
| 9 | 27 | 25 | 5 | 2018 | 173,43 | 35917 | 598,62 | -1,0078 |
| 8 | 52 | 29 | 5 | 2018 | 172,01 | 41642 | 694,03 | -1,1024 |
| 9 | 4 | 1 | 6 | 2018 | 171,15 | 44534 | 742,23 | -1,1597 |
| 8 | 55 | 4 | 6 | 2018 | 170,48 | 48845 | 814,08 | -1,2043 |
| 9 | 26 | 8 | 6 | 2018 | 169,88 | 54636 | 910,60 | -1,2443 |
| 8 | 46 | 11 | 6 | 2018 | 169,47 | 58916 | 981,93 | -1,2716 |
| 10 | 23 | 15 | 6 | 2018 | 169,07 | 64773 | 1079,55 | -1,2983 |
| 11 | 8 | 19 | 6 | 2018 | 168,85 | 70578 | 1176,30 | -1,3129 |
| 12 | 54 | 22 | 6 | 2018 | 168,76 | 75004 | 1250,07 | -1,3189 |
| 9 | 36 | 26 | 6 | 2018 | 168,71 | 80566 | 1342,77 | -1,3222 |
| 10 | 50 | 29 | 6 | 2018 | 168,71 | 90720 | 1512,00 | -1,3222 |
| 15 | 52 | 3 | 7 | 2018 | 168,71 | 95342 | 1589,03 | -1,3222 |
| 16 | 42 | 6 | 7 | 2018 | 168,71 | 101152 | 1685,87 | -1,3222 |
| 9 | 57 | 10 | 7 | 2018 | 168,71 | 106507 | 1775,12 | -1,3222 |
| 11 | 24 | 16 | 7 | 2018 | 168,71 | 110914 | 1848,57 | -1,3222 |

Dados do provete APDF1 3

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 188,56 |
| Secção (cm²) | 15,01 |
| Altura (cm) | 6,07 |
| Saturação crítica (%) | 24 |

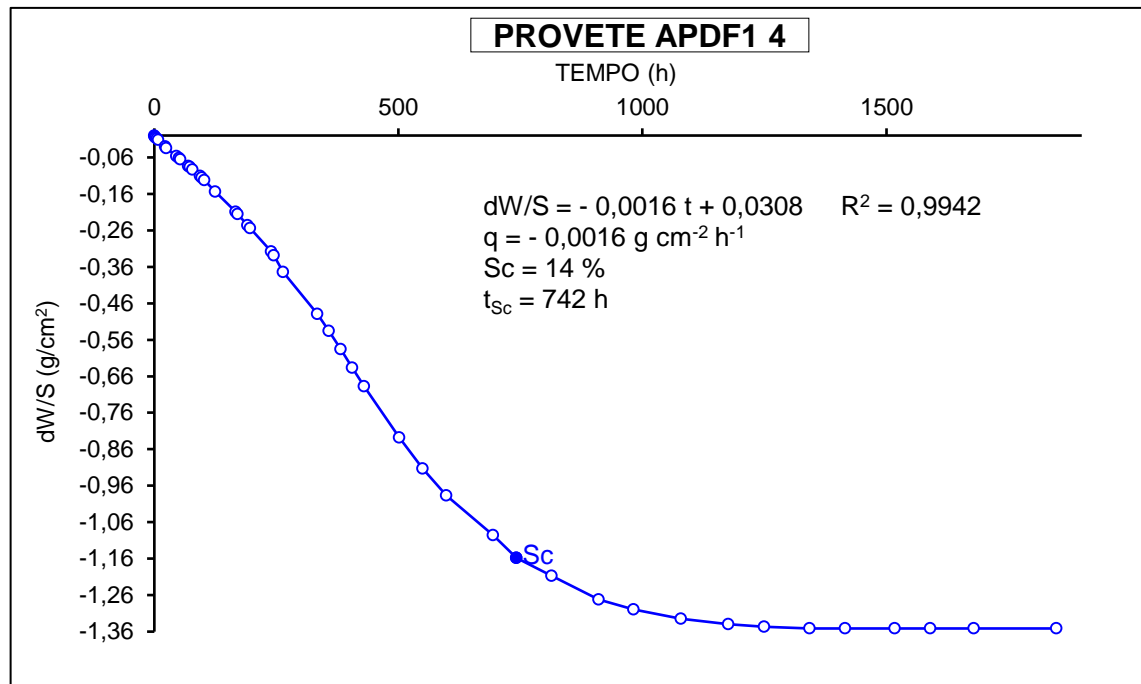


Anexo 28 - Ensaio de evaporação – Provete APDF1 4

| PROVETE APDF1 4 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 6 | 30 | 4 | 2018 | 195,16 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 54 | 30 | 4 | 2018 | 195,12 | 48 | 0,80 | -0,0027 |
| 14 | 16 | 30 | 4 | 2018 | 195,08 | 190 | 3,17 | -0,0053 |
| 16 | 36 | 30 | 4 | 2018 | 195,03 | 330 | 5,50 | -0,0086 |
| 19 | 19 | 30 | 4 | 2018 | 194,98 | 493 | 8,22 | -0,0119 |
| 9 | 26 | 1 | 5 | 2018 | 194,70 | 1340 | 22,33 | -0,0305 |
| 11 | 49 | 1 | 5 | 2018 | 194,64 | 1483 | 24,72 | -0,0345 |
| 8 | 54 | 2 | 5 | 2018 | 194,31 | 2748 | 45,80 | -0,0563 |
| 13 | 49 | 2 | 5 | 2018 | 194,23 | 3043 | 50,72 | -0,0616 |
| 16 | 48 | 2 | 5 | 2018 | 194,18 | 3222 | 53,70 | -0,0650 |
| 8 | 54 | 3 | 5 | 2018 | 193,90 | 4188 | 69,80 | -0,0835 |
| 12 | 17 | 3 | 5 | 2018 | 193,85 | 4391 | 73,18 | -0,0868 |
| 17 | 26 | 3 | 5 | 2018 | 193,75 | 4700 | 78,33 | -0,0935 |
| 9 | 13 | 4 | 5 | 2018 | 193,48 | 5647 | 94,12 | -0,1113 |
| 12 | 23 | 4 | 5 | 2018 | 193,42 | 5837 | 97,28 | -0,1153 |
| 17 | 23 | 4 | 5 | 2018 | 193,31 | 6137 | 102,28 | -0,1226 |
| 16 | 5 | 5 | 5 | 2018 | 192,84 | 7499 | 124,98 | -0,1538 |
| 10 | 16 | 7 | 5 | 2018 | 192,00 | 10030 | 167,17 | -0,2094 |
| 14 | 11 | 7 | 5 | 2018 | 191,91 | 10265 | 171,08 | -0,2154 |
| 10 | 18 | 8 | 5 | 2018 | 191,44 | 11472 | 191,20 | -0,2466 |
| 15 | 12 | 8 | 5 | 2018 | 191,33 | 11766 | 196,10 | -0,2538 |
| 10 | 56 | 10 | 5 | 2018 | 190,36 | 14390 | 239,83 | -0,3181 |
| 16 | 5 | 10 | 5 | 2018 | 190,20 | 14699 | 244,98 | -0,3287 |
| 10 | 48 | 11 | 5 | 2018 | 189,51 | 15822 | 263,70 | -0,3745 |
| 8 | 58 | 14 | 5 | 2018 | 187,78 | 20032 | 333,87 | -0,4891 |
| 9 | 0 | 15 | 5 | 2018 | 187,08 | 21474 | 357,90 | -0,5355 |
| 8 | 58 | 16 | 5 | 2018 | 186,32 | 22912 | 381,87 | -0,5859 |
| 8 | 50 | 17 | 5 | 2018 | 185,56 | 24344 | 405,73 | -0,6363 |
| 8 | 54 | 18 | 5 | 2018 | 184,78 | 25788 | 429,80 | -0,6880 |
| 8 | 52 | 21 | 5 | 2018 | 182,67 | 30106 | 501,77 | -0,8278 |
| 8 | 48 | 23 | 5 | 2018 | 181,38 | 32982 | 549,70 | -0,9133 |
| 9 | 31 | 25 | 5 | 2018 | 180,27 | 35905 | 598,42 | -0,9869 |
| 8 | 54 | 29 | 5 | 2018 | 178,63 | 41628 | 693,80 | -1,0956 |
| 9 | 6 | 1 | 6 | 2018 | 177,69 | 44520 | 742,00 | -1,1579 |
| 8 | 57 | 4 | 6 | 2018 | 176,95 | 48831 | 813,85 | -1,2069 |
| 9 | 33 | 8 | 6 | 2018 | 175,96 | 54627 | 910,45 | -1,2725 |
| 8 | 47 | 11 | 6 | 2018 | 175,55 | 58901 | 981,68 | -1,2997 |
| 10 | 26 | 15 | 6 | 2018 | 175,17 | 64760 | 1079,33 | -1,3249 |
| 11 | 10 | 19 | 6 | 2018 | 174,95 | 70564 | 1176,07 | -1,3395 |
| 12 | 55 | 22 | 6 | 2018 | 174,84 | 74989 | 1249,82 | -1,3468 |
| 9 | 37 | 26 | 6 | 2018 | 174,77 | 80551 | 1342,52 | -1,3514 |
| 10 | 51 | 29 | 6 | 2018 | 174,77 | 84945 | 1415,75 | -1,3514 |
| 15 | 54 | 3 | 7 | 2018 | 174,77 | 91008 | 1516,80 | -1,3514 |
| 16 | 44 | 6 | 7 | 2018 | 174,77 | 95378 | 1589,63 | -1,3514 |
| 9 | 59 | 10 | 7 | 2018 | 174,77 | 100733 | 1678,88 | -1,3514 |
| 11 | 26 | 16 | 7 | 2018 | 174,77 | 110900 | 1848,33 | -1,3514 |

Dados do provete APDF1 4

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 195,16 |
| Secção (cm²) | 15,09 |
| Altura (cm) | 6,18 |
| Saturação crítica (%) | 14 |

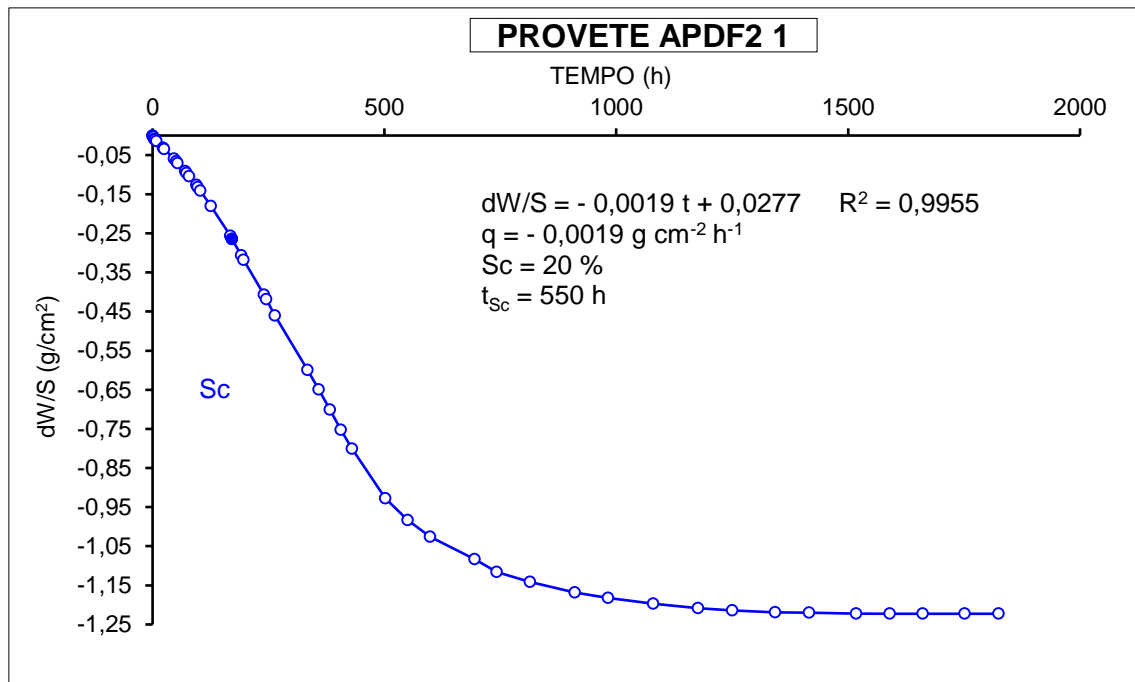


Anexo 29 - Ensaio de evaporação – Provete APDF2 1

| PROVETE APDF2 1 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 32 | 30 | 4 | 2018 | 204,09 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 1 | 30 | 4 | 2018 | 204,07 | 29 | 0,48 | -0,0013 |
| 12 | 30 | 30 | 4 | 2018 | 204,03 | 118 | 1,97 | -0,0038 |
| 14 | 12 | 30 | 4 | 2018 | 203,94 | 220 | 3,67 | -0,0095 |
| 16 | 33 | 30 | 4 | 2018 | 203,93 | 361 | 6,02 | -0,0102 |
| 19 | 15 | 30 | 4 | 2018 | 203,86 | 523 | 8,72 | -0,0146 |
| 9 | 17 | 1 | 5 | 2018 | 203,60 | 1365 | 22,75 | -0,0312 |
| 11 | 45 | 1 | 5 | 2018 | 203,54 | 1513 | 25,22 | -0,0350 |
| 8 | 46 | 2 | 5 | 2018 | 203,16 | 2774 | 46,23 | -0,0591 |
| 13 | 42 | 2 | 5 | 2018 | 203,05 | 3070 | 51,17 | -0,0661 |
| 16 | 42 | 2 | 5 | 2018 | 202,98 | 3250 | 54,17 | -0,0706 |
| 8 | 46 | 3 | 5 | 2018 | 202,65 | 4214 | 70,23 | -0,0916 |
| 12 | 11 | 3 | 5 | 2018 | 202,58 | 4419 | 73,65 | -0,0960 |
| 17 | 21 | 3 | 5 | 2018 | 202,45 | 4729 | 78,82 | -0,1043 |
| 9 | 6 | 4 | 5 | 2018 | 202,10 | 5674 | 94,57 | -0,1265 |
| 12 | 17 | 4 | 5 | 2018 | 202,01 | 5865 | 97,75 | -0,1322 |
| 17 | 17 | 4 | 5 | 2018 | 201,87 | 6165 | 102,75 | -0,1411 |
| 16 | 2 | 5 | 5 | 2018 | 201,25 | 7530 | 125,50 | -0,1806 |
| 10 | 9 | 7 | 5 | 2018 | 200,06 | 10057 | 167,62 | -0,2562 |
| 14 | 5 | 7 | 5 | 2018 | 199,93 | 10293 | 171,55 | -0,2645 |
| 10 | 11 | 8 | 5 | 2018 | 199,27 | 11499 | 191,65 | -0,3065 |
| 15 | 3 | 8 | 5 | 2018 | 199,09 | 11791 | 196,52 | -0,3179 |
| 10 | 48 | 10 | 5 | 2018 | 197,69 | 14416 | 240,27 | -0,4069 |
| 15 | 59 | 10 | 5 | 2018 | 197,51 | 14727 | 245,45 | -0,4184 |
| 10 | 41 | 11 | 5 | 2018 | 196,85 | 15849 | 264,15 | -0,4603 |
| 8 | 51 | 14 | 5 | 2018 | 194,66 | 20059 | 334,32 | -0,5996 |
| 8 | 50 | 15 | 5 | 2018 | 193,87 | 21498 | 358,30 | -0,6498 |
| 8 | 51 | 16 | 5 | 2018 | 193,06 | 22939 | 382,32 | -0,7013 |
| 8 | 44 | 17 | 5 | 2018 | 192,26 | 24372 | 406,20 | -0,7522 |
| 8 | 46 | 18 | 5 | 2018 | 191,49 | 25814 | 430,23 | -0,8011 |
| 8 | 44 | 21 | 5 | 2018 | 189,50 | 30132 | 502,20 | -0,9276 |
| 8 | 43 | 23 | 5 | 2018 | 188,62 | 33011 | 550,18 | -0,9836 |
| 9 | 24 | 25 | 5 | 2018 | 187,96 | 35932 | 598,87 | -1,0256 |
| 8 | 48 | 29 | 5 | 2018 | 187,05 | 41656 | 694,27 | -1,0834 |
| 8 | 59 | 1 | 6 | 2018 | 186,54 | 44547 | 742,45 | -1,1158 |
| 8 | 53 | 4 | 6 | 2018 | 186,14 | 48861 | 814,35 | -1,1413 |
| 9 | 19 | 8 | 6 | 2018 | 185,72 | 54647 | 910,78 | -1,1680 |
| 8 | 43 | 11 | 6 | 2018 | 185,50 | 58931 | 982,18 | -1,1820 |
| 10 | 19 | 15 | 6 | 2018 | 185,26 | 64787 | 1079,78 | -1,1972 |
| 11 | 7 | 19 | 6 | 2018 | 185,08 | 70595 | 1176,58 | -1,2087 |
| 12 | 51 | 22 | 6 | 2018 | 184,99 | 75019 | 1250,32 | -1,2144 |
| 9 | 34 | 26 | 6 | 2018 | 184,92 | 80582 | 1343,03 | -1,2188 |
| 10 | 49 | 29 | 6 | 2018 | 184,90 | 84977 | 1416,28 | -1,2201 |
| 15 | 50 | 3 | 7 | 2018 | 184,87 | 91038 | 1517,30 | -1,2220 |
| 16 | 41 | 6 | 7 | 2018 | 184,86 | 95409 | 1590,15 | -1,2227 |
| 15 | 44 | 9 | 7 | 2018 | 184,86 | 99672 | 1661,20 | -1,2227 |
| 10 | 14 | 13 | 7 | 2018 | 184,86 | 105102 | 1751,70 | -1,2227 |
| 11 | 23 | 16 | 7 | 2018 | 184,86 | 109491 | 1824,85 | -1,2227 |

Dados do provete APDF2 1

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 204,09 |
| Secção (cm²) | 15,73 |
| Altura (cm) | 5,06 |
| Saturação crítica (%) | 20 |

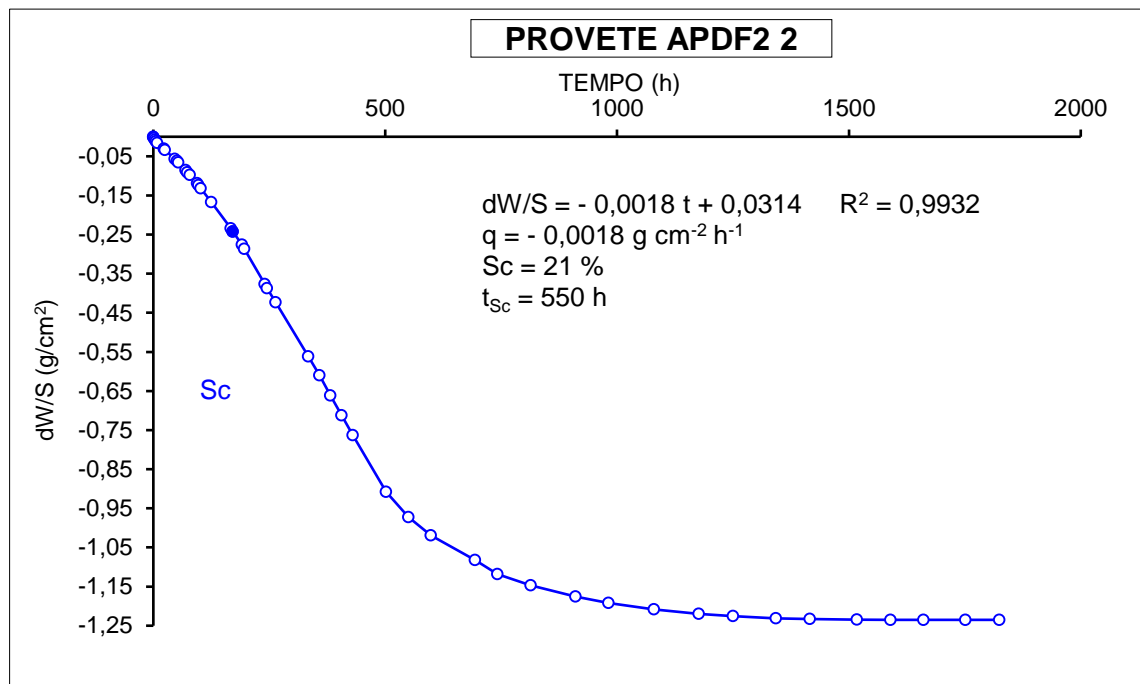


Anexo 30 - Ensaio de evaporação – Provete APDF2 2

| PROVETE APDF2 2 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 33 | 30 | 4 | 2018 | 195,46 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 1 | 30 | 4 | 2018 | 195,44 | 28 | 0,47 | -0,0013 |
| 12 | 31 | 30 | 4 | 2018 | 195,40 | 118 | 1,97 | -0,0040 |
| 14 | 12 | 30 | 4 | 2018 | 195,35 | 219 | 3,65 | -0,0073 |
| 16 | 33 | 30 | 4 | 2018 | 195,28 | 360 | 6,00 | -0,0120 |
| 19 | 15 | 30 | 4 | 2018 | 195,22 | 522 | 8,70 | -0,0160 |
| 9 | 18 | 1 | 5 | 2018 | 195,00 | 1365 | 22,75 | -0,0307 |
| 11 | 45 | 1 | 5 | 2018 | 194,95 | 1512 | 25,20 | -0,0341 |
| 8 | 46 | 2 | 5 | 2018 | 194,61 | 2773 | 46,22 | -0,0568 |
| 13 | 43 | 2 | 5 | 2018 | 194,53 | 3070 | 51,17 | -0,0621 |
| 16 | 42 | 2 | 5 | 2018 | 194,47 | 3249 | 54,15 | -0,0661 |
| 8 | 47 | 3 | 5 | 2018 | 194,18 | 4214 | 70,23 | -0,0855 |
| 12 | 11 | 3 | 5 | 2018 | 194,10 | 4418 | 73,63 | -0,0908 |
| 17 | 21 | 3 | 5 | 2018 | 194,00 | 4728 | 78,80 | -0,0975 |
| 9 | 6 | 4 | 5 | 2018 | 193,68 | 5673 | 94,55 | -0,1189 |
| 12 | 17 | 4 | 5 | 2018 | 193,60 | 5864 | 97,73 | -0,1242 |
| 17 | 17 | 4 | 5 | 2018 | 193,48 | 6164 | 102,73 | -0,1323 |
| 16 | 2 | 5 | 5 | 2018 | 192,96 | 7529 | 125,48 | -0,1670 |
| 10 | 10 | 7 | 5 | 2018 | 191,95 | 10057 | 167,62 | -0,2344 |
| 14 | 5 | 7 | 5 | 2018 | 191,83 | 10292 | 171,53 | -0,2425 |
| 10 | 11 | 8 | 5 | 2018 | 191,32 | 11498 | 191,63 | -0,2765 |
| 15 | 4 | 8 | 5 | 2018 | 191,17 | 11791 | 196,52 | -0,2865 |
| 10 | 49 | 10 | 5 | 2018 | 189,82 | 14416 | 240,27 | -0,3767 |
| 15 | 59 | 10 | 5 | 2018 | 189,66 | 14726 | 245,43 | -0,3874 |
| 10 | 41 | 11 | 5 | 2018 | 189,12 | 15848 | 264,13 | -0,4235 |
| 8 | 51 | 14 | 5 | 2018 | 187,05 | 20058 | 334,30 | -0,5617 |
| 8 | 50 | 15 | 5 | 2018 | 186,32 | 21497 | 358,28 | -0,6105 |
| 8 | 51 | 16 | 5 | 2018 | 185,55 | 22938 | 382,30 | -0,6619 |
| 8 | 44 | 17 | 5 | 2018 | 184,79 | 24371 | 406,18 | -0,7127 |
| 8 | 46 | 18 | 5 | 2018 | 184,03 | 25813 | 430,22 | -0,7635 |
| 8 | 45 | 21 | 5 | 2018 | 181,86 | 30132 | 502,20 | -0,9084 |
| 8 | 43 | 23 | 5 | 2018 | 180,90 | 33010 | 550,17 | -0,9725 |
| 9 | 24 | 25 | 5 | 2018 | 180,20 | 35931 | 598,85 | -1,0193 |
| 8 | 48 | 29 | 5 | 2018 | 179,25 | 41655 | 694,25 | -1,0827 |
| 9 | 0 | 1 | 6 | 2018 | 178,72 | 44547 | 742,45 | -1,1181 |
| 8 | 53 | 4 | 6 | 2018 | 178,29 | 48860 | 814,33 | -1,1469 |
| 9 | 20 | 8 | 6 | 2018 | 177,86 | 54647 | 910,78 | -1,1756 |
| 8 | 43 | 11 | 6 | 2018 | 177,62 | 58930 | 982,17 | -1,1916 |
| 10 | 20 | 15 | 6 | 2018 | 177,37 | 64787 | 1079,78 | -1,2083 |
| 11 | 7 | 19 | 6 | 2018 | 177,20 | 70594 | 1176,57 | -1,2197 |
| 12 | 51 | 22 | 6 | 2018 | 177,11 | 75018 | 1250,30 | -1,2257 |
| 9 | 34 | 26 | 6 | 2018 | 177,02 | 80581 | 1343,02 | -1,2317 |
| 10 | 49 | 29 | 6 | 2018 | 177,00 | 84976 | 1416,27 | -1,2330 |
| 15 | 50 | 3 | 7 | 2018 | 176,98 | 91037 | 1517,28 | -1,2344 |
| 16 | 41 | 6 | 7 | 2018 | 176,97 | 95408 | 1590,13 | -1,2350 |
| 15 | 44 | 9 | 7 | 2018 | 176,97 | 99671 | 1661,18 | -1,2350 |
| 10 | 14 | 13 | 7 | 2018 | 176,97 | 105101 | 1751,68 | -1,2350 |
| 11 | 23 | 16 | 7 | 2018 | 176,97 | 109490 | 1824,83 | -1,2350 |

Dados do provete APDF2 2

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 195,46 |
| Secção (cm ²) | 14,97 |
| Altura (cm) | 6,14 |
| Saturação crítica (%) | 21 |

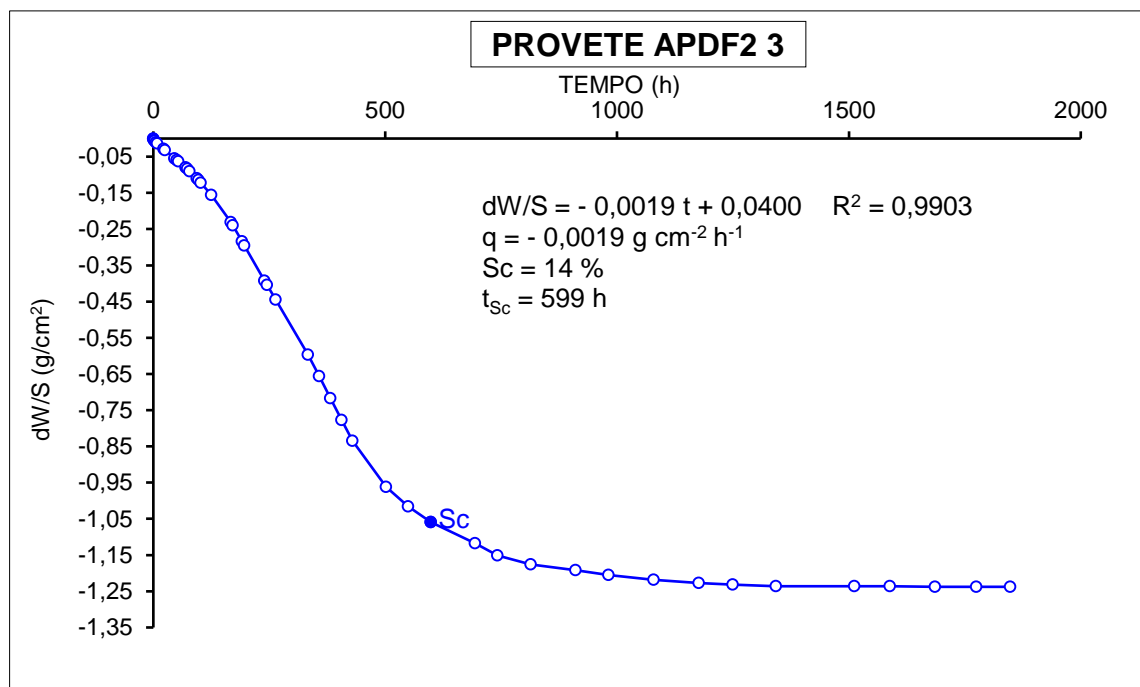


Anexo 31 - Ensaio de evaporação – Provete APDF2 3

| PROVETE APDF2 3 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 52 | 30 | 4 | 2018 | 193,88 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 16 | 30 | 4 | 2018 | 193,86 | 24 | 0,40 | -0,0013 |
| 12 | 33 | 30 | 4 | 2018 | 193,81 | 101 | 1,68 | -0,0047 |
| 14 | 14 | 30 | 4 | 2018 | 193,78 | 202 | 3,37 | -0,0067 |
| 16 | 35 | 30 | 4 | 2018 | 193,72 | 343 | 5,72 | -0,0107 |
| 19 | 17 | 30 | 4 | 2018 | 193,68 | 505 | 8,42 | -0,0134 |
| 9 | 23 | 1 | 5 | 2018 | 193,45 | 1351 | 22,52 | -0,0288 |
| 11 | 47 | 1 | 5 | 2018 | 193,40 | 1495 | 24,92 | -0,0321 |
| 8 | 51 | 2 | 5 | 2018 | 193,06 | 2759 | 45,98 | -0,0549 |
| 13 | 46 | 2 | 5 | 2018 | 192,99 | 3054 | 50,90 | -0,0596 |
| 16 | 45 | 2 | 5 | 2018 | 192,94 | 3233 | 53,88 | -0,0630 |
| 8 | 50 | 3 | 5 | 2018 | 192,68 | 4198 | 69,97 | -0,0804 |
| 12 | 14 | 3 | 5 | 2018 | 192,63 | 4402 | 73,37 | -0,0837 |
| 17 | 24 | 3 | 5 | 2018 | 192,53 | 4712 | 78,53 | -0,0904 |
| 9 | 10 | 4 | 5 | 2018 | 192,24 | 5658 | 94,30 | -0,1098 |
| 12 | 20 | 4 | 5 | 2018 | 192,17 | 5848 | 97,47 | -0,1145 |
| 17 | 20 | 4 | 5 | 2018 | 192,05 | 6148 | 102,47 | -0,1226 |
| 16 | 4 | 5 | 5 | 2018 | 191,55 | 7512 | 125,20 | -0,1561 |
| 10 | 13 | 7 | 5 | 2018 | 190,43 | 10041 | 167,35 | -0,2311 |
| 14 | 8 | 7 | 5 | 2018 | 190,30 | 10276 | 171,27 | -0,2398 |
| 10 | 15 | 8 | 5 | 2018 | 189,64 | 11483 | 191,38 | -0,2840 |
| 15 | 8 | 8 | 5 | 2018 | 189,47 | 11776 | 196,27 | -0,2954 |
| 10 | 53 | 10 | 5 | 2018 | 188,02 | 14401 | 240,02 | -0,3925 |
| 16 | 2 | 10 | 5 | 2018 | 187,84 | 14710 | 245,17 | -0,4046 |
| 10 | 45 | 11 | 5 | 2018 | 187,24 | 15833 | 263,88 | -0,4447 |
| 8 | 55 | 14 | 5 | 2018 | 184,97 | 20043 | 334,05 | -0,5968 |
| 8 | 57 | 15 | 5 | 2018 | 184,08 | 21485 | 358,08 | -0,6564 |
| 8 | 55 | 16 | 5 | 2018 | 183,17 | 22923 | 382,05 | -0,7173 |
| 8 | 48 | 17 | 5 | 2018 | 182,28 | 24356 | 405,93 | -0,7770 |
| 8 | 51 | 18 | 5 | 2018 | 181,42 | 25799 | 429,98 | -0,8346 |
| 8 | 50 | 21 | 5 | 2018 | 179,51 | 30118 | 501,97 | -0,9625 |
| 8 | 46 | 23 | 5 | 2018 | 178,71 | 32994 | 549,90 | -1,0161 |
| 9 | 28 | 25 | 5 | 2018 | 178,07 | 35916 | 598,60 | -1,0589 |
| 8 | 52 | 29 | 5 | 2018 | 177,19 | 41640 | 694,00 | -1,1179 |
| 9 | 4 | 1 | 6 | 2018 | 176,69 | 44532 | 742,20 | -1,1514 |
| 8 | 56 | 4 | 6 | 2018 | 176,32 | 48844 | 814,07 | -1,1761 |
| 9 | 27 | 8 | 6 | 2018 | 176,09 | 54635 | 910,58 | -1,1916 |
| 8 | 46 | 11 | 6 | 2018 | 175,89 | 58914 | 981,90 | -1,2049 |
| 10 | 24 | 15 | 6 | 2018 | 175,69 | 64772 | 1079,53 | -1,2183 |
| 11 | 8 | 19 | 6 | 2018 | 175,56 | 70576 | 1176,27 | -1,2271 |
| 12 | 54 | 22 | 6 | 2018 | 175,49 | 75002 | 1250,03 | -1,2317 |
| 9 | 36 | 26 | 6 | 2018 | 175,43 | 80564 | 1342,73 | -1,2358 |
| 10 | 50 | 29 | 6 | 2018 | 175,42 | 90718 | 1511,97 | -1,2364 |
| 15 | 53 | 3 | 7 | 2018 | 175,42 | 95341 | 1589,02 | -1,2364 |
| 16 | 43 | 6 | 7 | 2018 | 175,40 | 101151 | 1685,85 | -1,2378 |
| 9 | 58 | 10 | 7 | 2018 | 175,40 | 106506 | 1775,10 | -1,2378 |
| 11 | 25 | 16 | 7 | 2018 | 175,40 | 110913 | 1848,55 | -1,2378 |

Dados do provete APDF2 3

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 193,88 |
| Secção (cm ²) | 14,93 |
| Altura (cm) | 6,06 |
| Saturação crítica (%) | 14 |

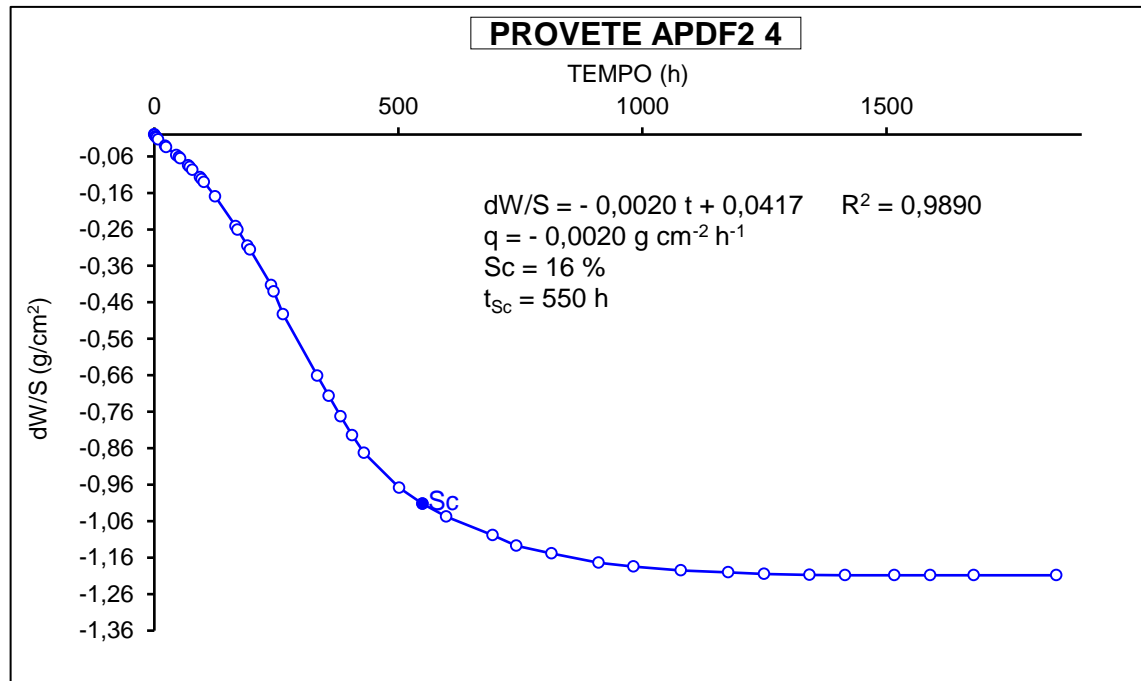


Anexo 32 - Ensaio de evaporação – Provete APDF2 4

| PROVETE APDF2 4 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 7 | 30 | 4 | 2018 | 200,98 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 54 | 30 | 4 | 2018 | 200,95 | 47 | 0,78 | -0,0019 |
| 14 | 16 | 30 | 4 | 2018 | 200,88 | 189 | 3,15 | -0,0063 |
| 16 | 36 | 30 | 4 | 2018 | 200,84 | 329 | 5,48 | -0,0089 |
| 19 | 19 | 30 | 4 | 2018 | 200,76 | 492 | 8,20 | -0,0139 |
| 9 | 26 | 1 | 5 | 2018 | 200,49 | 1339 | 22,32 | -0,0310 |
| 11 | 49 | 1 | 5 | 2018 | 200,43 | 1482 | 24,70 | -0,0348 |
| 8 | 55 | 2 | 5 | 2018 | 200,09 | 2748 | 45,80 | -0,0564 |
| 13 | 49 | 2 | 5 | 2018 | 200,00 | 3042 | 50,70 | -0,0621 |
| 16 | 49 | 2 | 5 | 2018 | 199,94 | 3222 | 53,70 | -0,0659 |
| 8 | 54 | 3 | 5 | 2018 | 199,64 | 4187 | 69,78 | -0,0849 |
| 12 | 17 | 3 | 5 | 2018 | 199,57 | 4390 | 73,17 | -0,0893 |
| 17 | 26 | 3 | 5 | 2018 | 199,44 | 4699 | 78,32 | -0,0975 |
| 9 | 14 | 4 | 5 | 2018 | 199,12 | 5647 | 94,12 | -0,1178 |
| 12 | 23 | 4 | 5 | 2018 | 199,05 | 5836 | 97,27 | -0,1222 |
| 17 | 23 | 4 | 5 | 2018 | 198,92 | 6136 | 102,27 | -0,1305 |
| 16 | 5 | 5 | 5 | 2018 | 198,30 | 7498 | 124,97 | -0,1697 |
| 10 | 17 | 7 | 5 | 2018 | 197,00 | 10030 | 167,17 | -0,2520 |
| 14 | 11 | 7 | 5 | 2018 | 196,86 | 10264 | 171,07 | -0,2609 |
| 10 | 19 | 8 | 5 | 2018 | 196,16 | 11472 | 191,20 | -0,3052 |
| 15 | 12 | 8 | 5 | 2018 | 195,99 | 11765 | 196,08 | -0,3160 |
| 10 | 57 | 10 | 5 | 2018 | 194,46 | 14390 | 239,83 | -0,4129 |
| 16 | 5 | 10 | 5 | 2018 | 194,18 | 14698 | 244,97 | -0,4306 |
| 10 | 48 | 11 | 5 | 2018 | 193,20 | 15821 | 263,68 | -0,4927 |
| 8 | 58 | 14 | 5 | 2018 | 190,54 | 20031 | 333,85 | -0,6611 |
| 9 | 1 | 15 | 5 | 2018 | 189,66 | 21474 | 357,90 | -0,7168 |
| 8 | 58 | 16 | 5 | 2018 | 188,77 | 22911 | 381,85 | -0,7732 |
| 8 | 51 | 17 | 5 | 2018 | 187,95 | 24344 | 405,73 | -0,8251 |
| 8 | 54 | 18 | 5 | 2018 | 187,20 | 25787 | 429,78 | -0,8726 |
| 8 | 53 | 21 | 5 | 2018 | 185,69 | 30106 | 501,77 | -0,9682 |
| 8 | 48 | 23 | 5 | 2018 | 184,99 | 32981 | 549,68 | -1,0126 |
| 9 | 31 | 25 | 5 | 2018 | 184,43 | 35904 | 598,40 | -1,0480 |
| 8 | 54 | 29 | 5 | 2018 | 183,63 | 41627 | 693,78 | -1,0987 |
| 9 | 7 | 1 | 6 | 2018 | 183,17 | 44520 | 742,00 | -1,1278 |
| 8 | 58 | 4 | 6 | 2018 | 182,84 | 48831 | 813,85 | -1,1487 |
| 9 | 34 | 8 | 6 | 2018 | 182,44 | 54627 | 910,45 | -1,1741 |
| 8 | 48 | 11 | 6 | 2018 | 182,27 | 58901 | 981,68 | -1,1848 |
| 10 | 27 | 15 | 6 | 2018 | 182,11 | 64760 | 1079,33 | -1,1950 |
| 11 | 10 | 19 | 6 | 2018 | 182,02 | 70563 | 1176,05 | -1,2007 |
| 12 | 56 | 22 | 6 | 2018 | 181,96 | 74989 | 1249,82 | -1,2045 |
| 9 | 38 | 26 | 6 | 2018 | 181,91 | 80551 | 1342,52 | -1,2076 |
| 10 | 52 | 29 | 6 | 2018 | 181,90 | 84945 | 1415,75 | -1,2083 |
| 15 | 54 | 3 | 7 | 2018 | 181,90 | 91007 | 1516,78 | -1,2083 |
| 16 | 44 | 6 | 7 | 2018 | 181,90 | 95377 | 1589,62 | -1,2083 |
| 9 | 59 | 10 | 7 | 2018 | 181,90 | 100732 | 1678,87 | -1,2083 |
| 11 | 27 | 16 | 7 | 2018 | 181,90 | 110900 | 1848,33 | -1,2083 |

Dados do provete APDF2 4

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 200,98 |
| Secção (cm²) | 15,79 |
| Altura (cm) | 6,12 |
| Saturação crítica (%) | 16 |

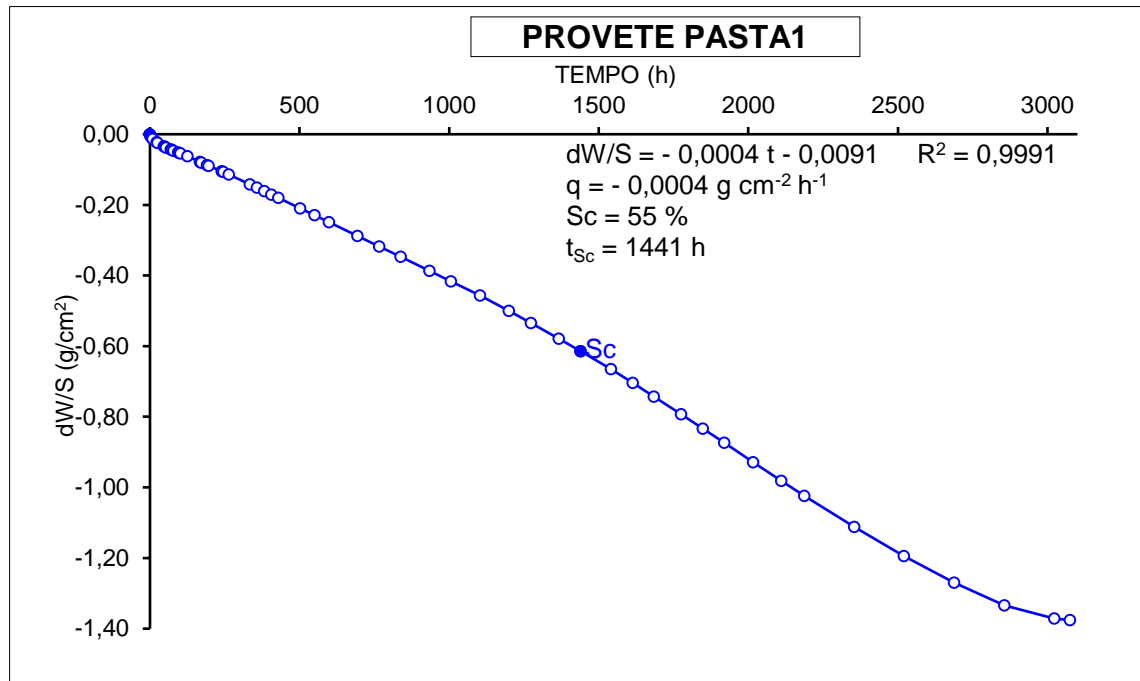


Anexo 33 - Ensaio de evaporação – Provete PASTA 1

| PROVETE PASTA1 | | | | | | | |
|----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas |
| 10 | 13 | 30 | 4 | 2018 | 179,22 | 0 | 0,00 |
| 10 | 44 | 30 | 4 | 2018 | 179,19 | 31 | 0,52 |
| 11 | 56 | 30 | 4 | 2018 | 179,16 | 103 | 1,72 |
| 14 | 7 | 30 | 4 | 2018 | 179,11 | 234 | 3,90 |
| 16 | 30 | 30 | 4 | 2018 | 179,08 | 377 | 6,28 |
| 19 | 13 | 30 | 4 | 2018 | 179,02 | 540 | 9,00 |
| 9 | 13 | 1 | 5 | 2018 | 178,88 | 1380 | 23,00 |
| 11 | 42 | 1 | 5 | 2018 | 178,85 | 1529 | 25,48 |
| 8 | 42 | 2 | 5 | 2018 | 178,71 | 2789 | 46,48 |
| 13 | 39 | 2 | 5 | 2018 | 178,68 | 3086 | 51,43 |
| 16 | 38 | 2 | 5 | 2018 | 178,66 | 3265 | 54,42 |
| 8 | 42 | 3 | 5 | 2018 | 178,57 | 4229 | 70,48 |
| 12 | 7 | 3 | 5 | 2018 | 178,56 | 4434 | 73,90 |
| 17 | 18 | 3 | 5 | 2018 | 178,52 | 4745 | 79,08 |
| 9 | 2 | 4 | 5 | 2018 | 178,45 | 5689 | 94,82 |
| 12 | 13 | 4 | 5 | 2018 | 178,43 | 5880 | 98,00 |
| 17 | 13 | 4 | 5 | 2018 | 178,41 | 6180 | 103,00 |
| 16 | 0 | 5 | 5 | 2018 | 178,29 | 7547 | 125,78 |
| 10 | 5 | 7 | 5 | 2018 | 178,05 | 10072 | 167,87 |
| 14 | 0 | 7 | 5 | 2018 | 178,02 | 10307 | 171,78 |
| 10 | 7 | 8 | 5 | 2018 | 177,91 | 11514 | 191,90 |
| 14 | 59 | 8 | 5 | 2018 | 177,89 | 11806 | 196,77 |
| 10 | 43 | 10 | 5 | 2018 | 177,66 | 14430 | 240,50 |
| 15 | 55 | 10 | 5 | 2018 | 177,63 | 14742 | 245,70 |
| 10 | 37 | 11 | 5 | 2018 | 177,53 | 15864 | 264,40 |
| 8 | 47 | 14 | 5 | 2018 | 177,11 | 20074 | 334,57 |
| 8 | 46 | 15 | 5 | 2018 | 176,98 | 21513 | 358,55 |
| 8 | 46 | 16 | 5 | 2018 | 176,83 | 22953 | 382,55 |
| 8 | 40 | 17 | 5 | 2018 | 176,68 | 24387 | 406,45 |
| 8 | 42 | 18 | 5 | 2018 | 176,55 | 25829 | 430,48 |
| 8 | 41 | 21 | 5 | 2018 | 176,11 | 30148 | 502,47 |
| 8 | 40 | 23 | 5 | 2018 | 175,82 | 33027 | 550,45 |
| 9 | 19 | 25 | 5 | 2018 | 175,53 | 35946 | 599,10 |
| 8 | 45 | 29 | 5 | 2018 | 174,95 | 41672 | 694,53 |
| 8 | 56 | 1 | 6 | 2018 | 174,51 | 46003 | 766,72 |
| 8 | 50 | 4 | 6 | 2018 | 174,08 | 50317 | 838,62 |
| 9 | 11 | 8 | 6 | 2018 | 173,49 | 56098 | 934,97 |
| 8 | 41 | 11 | 6 | 2018 | 173,04 | 60388 | 1006,47 |
| 10 | 15 | 15 | 6 | 2018 | 172,45 | 66242 | 1104,03 |
| 11 | 4 | 19 | 6 | 2018 | 171,81 | 72051 | 1200,85 |
| 12 | 52 | 22 | 6 | 2018 | 171,30 | 76479 | 1274,65 |
| 9 | 32 | 26 | 6 | 2018 | 170,64 | 82039 | 1367,32 |
| 10 | 46 | 29 | 6 | 2018 | 170,12 | 86433 | 1440,55 |
| 15 | 48 | 3 | 7 | 2018 | 169,36 | 92495 | 1541,58 |
| 16 | 39 | 6 | 7 | 2018 | 168,79 | 96866 | 1614,43 |
| 15 | 42 | 9 | 7 | 2018 | 168,21 | 101129 | 1685,48 |
| 10 | 12 | 13 | 7 | 2018 | 167,47 | 106559 | 1775,98 |
| 11 | 21 | 16 | 7 | 2018 | 166,87 | 110948 | 1849,13 |
| 10 | 17 | 19 | 7 | 2018 | 166,28 | 115204 | 1920,07 |
| 10 | 33 | 23 | 7 | 2018 | 165,45 | 120980 | 2016,33 |
| 9 | 30 | 27 | 7 | 2018 | 164,68 | 126677 | 2111,28 |
| 13 | 59 | 30 | 7 | 2018 | 164,04 | 131266 | 2187,77 |
| 12 | 45 | 6 | 8 | 2018 | 162,74 | 141272 | 2354,53 |
| 10 | 45 | 13 | 8 | 2018 | 161,52 | 151232 | 2520,53 |
| 10 | 52 | 20 | 8 | 2018 | 160,40 | 161319 | 2688,65 |
| 11 | 2 | 27 | 8 | 2018 | 159,45 | 171409 | 2856,82 |
| 9 | 34 | 3 | 9 | 2018 | 158,90 | 181401 | 3023,35 |
| 14 | 2 | 5 | 9 | 2018 | 158,84 | 184549 | 3075,82 |

Dados do provete PASTA1

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 179,22 |
| Secção (cm ²) | 14,81 |
| Altura (cm) | 6,09 |
| Saturação crítica (%) | 55 |

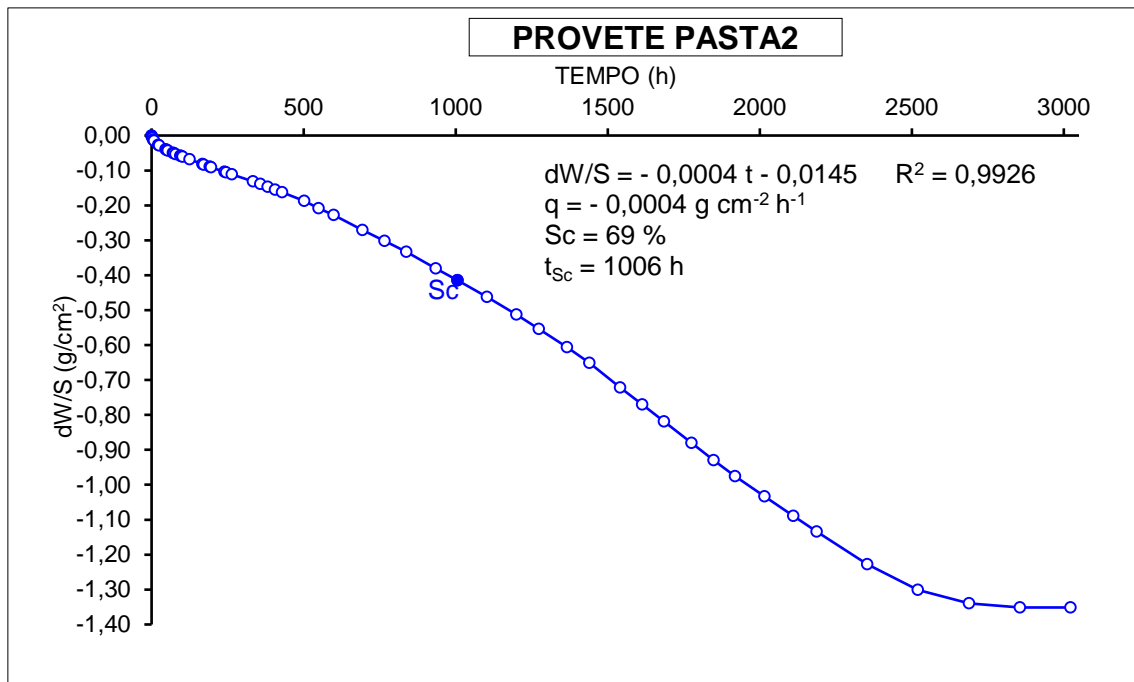


Anexo 34 - Ensaio de evaporação – Provete PASTA 2

| PROVETE PASTA2 | | | | | | | | |
|----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 30 | 30 | 4 | 2018 | 179,38 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 1 | 30 | 4 | 2018 | 179,36 | 31 | 0,52 | -0,0013 |
| 12 | 30 | 30 | 4 | 2018 | 179,32 | 120 | 2,00 | -0,0040 |
| 14 | 11 | 30 | 4 | 2018 | 179,27 | 221 | 3,68 | -0,0073 |
| 16 | 32 | 30 | 4 | 2018 | 179,20 | 362 | 6,03 | -0,0119 |
| 19 | 15 | 30 | 4 | 2018 | 179,15 | 525 | 8,75 | -0,0153 |
| 9 | 17 | 1 | 5 | 2018 | 178,97 | 1367 | 22,78 | -0,0272 |
| 11 | 45 | 1 | 5 | 2018 | 178,94 | 1515 | 25,25 | -0,0292 |
| 8 | 46 | 2 | 5 | 2018 | 178,78 | 2776 | 46,27 | -0,0398 |
| 13 | 42 | 2 | 5 | 2018 | 178,75 | 3072 | 51,20 | -0,0418 |
| 16 | 41 | 2 | 5 | 2018 | 178,73 | 3251 | 54,18 | -0,0431 |
| 8 | 46 | 3 | 5 | 2018 | 178,63 | 4216 | 70,27 | -0,0497 |
| 12 | 10 | 3 | 5 | 2018 | 178,61 | 4420 | 73,67 | -0,0511 |
| 17 | 21 | 3 | 5 | 2018 | 178,57 | 4731 | 78,85 | -0,0537 |
| 9 | 6 | 4 | 5 | 2018 | 178,50 | 5676 | 94,60 | -0,0584 |
| 12 | 17 | 4 | 5 | 2018 | 178,49 | 5867 | 97,78 | -0,0590 |
| 17 | 17 | 4 | 5 | 2018 | 178,46 | 6167 | 102,78 | -0,0610 |
| 16 | 1 | 5 | 5 | 2018 | 178,35 | 7531 | 125,52 | -0,0683 |
| 10 | 9 | 7 | 5 | 2018 | 178,15 | 10059 | 167,65 | -0,0816 |
| 14 | 4 | 7 | 5 | 2018 | 178,12 | 10294 | 171,57 | -0,0835 |
| 10 | 11 | 8 | 5 | 2018 | 178,03 | 11501 | 191,68 | -0,0895 |
| 15 | 3 | 8 | 5 | 2018 | 178,01 | 11793 | 196,55 | -0,0908 |
| 10 | 48 | 10 | 5 | 2018 | 177,81 | 14418 | 240,30 | -0,1041 |
| 15 | 58 | 10 | 5 | 2018 | 177,78 | 14728 | 245,47 | -0,1061 |
| 10 | 40 | 11 | 5 | 2018 | 177,70 | 15850 | 264,17 | -0,1114 |
| 8 | 51 | 14 | 5 | 2018 | 177,39 | 20061 | 334,35 | -0,1320 |
| 8 | 50 | 15 | 5 | 2018 | 177,28 | 21500 | 358,33 | -0,1392 |
| 8 | 50 | 16 | 5 | 2018 | 177,16 | 22940 | 382,33 | -0,1472 |
| 8 | 43 | 17 | 5 | 2018 | 177,04 | 24373 | 406,22 | -0,1552 |
| 8 | 46 | 18 | 5 | 2018 | 176,93 | 25816 | 430,27 | -0,1625 |
| 8 | 44 | 21 | 5 | 2018 | 176,55 | 30134 | 502,23 | -0,1877 |
| 8 | 42 | 23 | 5 | 2018 | 176,24 | 33012 | 550,20 | -0,2082 |
| 9 | 23 | 25 | 5 | 2018 | 175,94 | 35933 | 598,88 | -0,2281 |
| 8 | 47 | 29 | 5 | 2018 | 175,29 | 41657 | 694,28 | -0,2712 |
| 8 | 59 | 1 | 6 | 2018 | 174,82 | 45989 | 766,48 | -0,3024 |
| 8 | 52 | 4 | 6 | 2018 | 174,35 | 50302 | 838,37 | -0,3335 |
| 9 | 18 | 8 | 6 | 2018 | 173,64 | 56088 | 934,80 | -0,3806 |
| 8 | 43 | 11 | 6 | 2018 | 173,13 | 60373 | 1006,22 | -0,4144 |
| 10 | 19 | 15 | 6 | 2018 | 172,40 | 66229 | 1103,82 | -0,4628 |
| 11 | 6 | 19 | 6 | 2018 | 171,64 | 72036 | 1200,60 | -0,5132 |
| 12 | 51 | 22 | 6 | 2018 | 171,03 | 76461 | 1274,35 | -0,5537 |
| 9 | 33 | 26 | 6 | 2018 | 170,23 | 82023 | 1367,05 | -0,6067 |
| 10 | 48 | 29 | 6 | 2018 | 169,56 | 86418 | 1440,30 | -0,6511 |
| 15 | 49 | 3 | 7 | 2018 | 168,50 | 92479 | 1541,32 | -0,7214 |
| 16 | 41 | 6 | 7 | 2018 | 167,76 | 96851 | 1614,18 | -0,7705 |
| 15 | 43 | 9 | 7 | 2018 | 167,03 | 101113 | 1685,22 | -0,8189 |
| 10 | 14 | 13 | 7 | 2018 | 166,10 | 106544 | 1775,73 | -0,8806 |
| 11 | 23 | 16 | 7 | 2018 | 165,35 | 110933 | 1848,88 | -0,9303 |
| 10 | 18 | 19 | 7 | 2018 | 164,67 | 115188 | 1919,80 | -0,9754 |
| 10 | 34 | 23 | 7 | 2018 | 163,79 | 120964 | 2016,07 | -1,0337 |
| 9 | 31 | 27 | 7 | 2018 | 162,95 | 126661 | 2111,02 | -1,0894 |
| 14 | 0 | 30 | 7 | 2018 | 162,27 | 131250 | 2187,50 | -1,1345 |
| 12 | 46 | 6 | 8 | 2018 | 160,87 | 141256 | 2354,27 | -1,2274 |
| 10 | 46 | 13 | 8 | 2018 | 159,76 | 151216 | 2520,27 | -1,3010 |
| 10 | 53 | 20 | 8 | 2018 | 159,17 | 161303 | 2688,38 | -1,3401 |
| 11 | 3 | 27 | 8 | 2018 | 159,00 | 171393 | 2856,55 | -1,3514 |
| 9 | 34 | 3 | 9 | 2018 | 159,00 | 181384 | 3023,07 | -1,3514 |

Dados do provete PASTA2

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 179,38 |
| Secção (cm²) | 15,08 |
| Altura (cm) | 6,14 |
| Saturação crítica (%) | 69 |

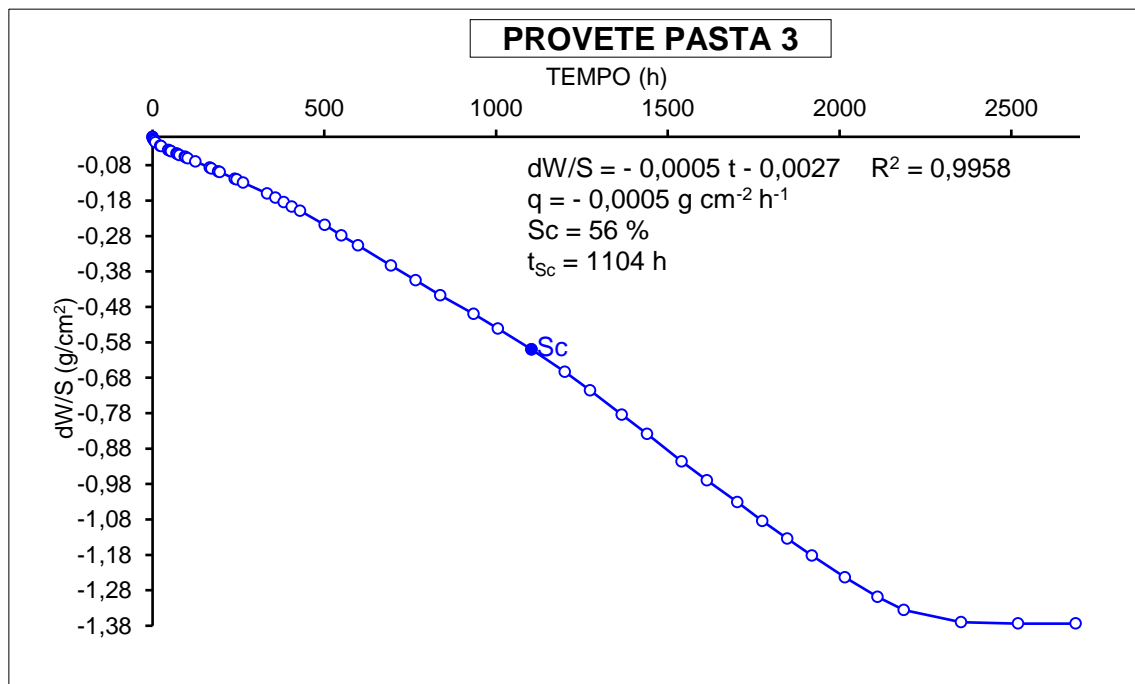


Anexo 35 - Ensaio de evaporação – Provete PASTA 3

| PROVETE PASTA 3 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 48 | 30 | 4 | 2018 | 187,73 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 15 | 30 | 4 | 2018 | 187,71 | 27 | 0,45 | -0,0013 |
| 12 | 33 | 30 | 4 | 2018 | 187,64 | 105 | 1,75 | -0,0057 |
| 14 | 13 | 30 | 4 | 2018 | 187,61 | 205 | 3,42 | -0,0076 |
| 16 | 34 | 30 | 4 | 2018 | 187,55 | 346 | 5,77 | -0,0114 |
| 19 | 17 | 30 | 4 | 2018 | 187,49 | 509 | 8,48 | -0,0152 |
| 9 | 22 | 1 | 5 | 2018 | 187,33 | 1354 | 22,57 | -0,0254 |
| 11 | 47 | 1 | 5 | 2018 | 187,31 | 1499 | 24,98 | -0,0267 |
| 8 | 50 | 2 | 5 | 2018 | 187,14 | 2762 | 46,03 | -0,0375 |
| 13 | 45 | 2 | 5 | 2018 | 187,11 | 3057 | 50,95 | -0,0394 |
| 16 | 44 | 2 | 5 | 2018 | 187,09 | 3236 | 53,93 | -0,0407 |
| 8 | 50 | 3 | 5 | 2018 | 186,98 | 4202 | 70,03 | -0,0476 |
| 12 | 14 | 3 | 5 | 2018 | 186,96 | 4406 | 73,43 | -0,0489 |
| 17 | 23 | 3 | 5 | 2018 | 186,92 | 4715 | 78,58 | -0,0515 |
| 9 | 9 | 4 | 5 | 2018 | 186,84 | 5661 | 94,35 | -0,0565 |
| 12 | 20 | 4 | 5 | 2018 | 186,81 | 5852 | 97,53 | -0,0584 |
| 17 | 20 | 4 | 5 | 2018 | 186,77 | 6152 | 102,53 | -0,0610 |
| 16 | 3 | 5 | 5 | 2018 | 186,63 | 7515 | 125,25 | -0,0699 |
| 10 | 13 | 7 | 5 | 2018 | 186,36 | 10045 | 167,42 | -0,0870 |
| 14 | 7 | 7 | 5 | 2018 | 186,32 | 10279 | 171,32 | -0,0896 |
| 10 | 14 | 8 | 5 | 2018 | 186,19 | 11486 | 191,43 | -0,0978 |
| 15 | 7 | 8 | 5 | 2018 | 186,16 | 11779 | 196,32 | -0,0997 |
| 10 | 52 | 10 | 5 | 2018 | 185,86 | 14404 | 240,07 | -0,1188 |
| 16 | 2 | 10 | 5 | 2018 | 185,83 | 14714 | 245,23 | -0,1207 |
| 10 | 44 | 11 | 5 | 2018 | 185,69 | 15836 | 263,93 | -0,1296 |
| 8 | 54 | 14 | 5 | 2018 | 185,21 | 20046 | 334,10 | -0,1601 |
| 8 | 57 | 15 | 5 | 2018 | 185,02 | 21489 | 358,15 | -0,1721 |
| 8 | 55 | 16 | 5 | 2018 | 184,83 | 22927 | 382,12 | -0,1842 |
| 8 | 47 | 17 | 5 | 2018 | 184,63 | 24359 | 405,98 | -0,1969 |
| 8 | 50 | 18 | 5 | 2018 | 184,44 | 25802 | 430,03 | -0,2090 |
| 8 | 49 | 21 | 5 | 2018 | 183,81 | 30121 | 502,02 | -0,2490 |
| 8 | 46 | 23 | 5 | 2018 | 183,35 | 32998 | 549,97 | -0,2782 |
| 9 | 27 | 25 | 5 | 2018 | 182,90 | 35919 | 598,65 | -0,3068 |
| 8 | 52 | 29 | 5 | 2018 | 182,01 | 41644 | 694,07 | -0,3634 |
| 9 | 3 | 1 | 6 | 2018 | 181,35 | 45975 | 766,25 | -0,4053 |
| 8 | 55 | 4 | 6 | 2018 | 180,68 | 50287 | 838,12 | -0,4478 |
| 9 | 25 | 8 | 6 | 2018 | 179,86 | 56077 | 934,62 | -0,4999 |
| 8 | 45 | 11 | 6 | 2018 | 179,21 | 60357 | 1005,95 | -0,5412 |
| 10 | 23 | 15 | 6 | 2018 | 178,28 | 66215 | 1103,58 | -0,6003 |
| 11 | 8 | 19 | 6 | 2018 | 177,28 | 72020 | 1200,33 | -0,6638 |
| 12 | 54 | 22 | 6 | 2018 | 176,46 | 76446 | 1274,10 | -0,7159 |
| 9 | 35 | 26 | 6 | 2018 | 175,38 | 82007 | 1366,78 | -0,7845 |
| 10 | 50 | 29 | 6 | 2018 | 174,53 | 86402 | 1440,03 | -0,8385 |
| 15 | 51 | 3 | 7 | 2018 | 173,31 | 92463 | 1541,05 | -0,9160 |
| 16 | 42 | 6 | 7 | 2018 | 172,47 | 96834 | 1613,90 | -0,9694 |
| 9 | 57 | 10 | 7 | 2018 | 171,49 | 102189 | 1703,15 | -1,0316 |
| 10 | 16 | 13 | 7 | 2018 | 170,66 | 106528 | 1775,47 | -1,0844 |
| 11 | 24 | 16 | 7 | 2018 | 169,87 | 110916 | 1848,60 | -1,1345 |
| 10 | 19 | 19 | 7 | 2018 | 169,12 | 115171 | 1919,52 | -1,1822 |
| 10 | 35 | 23 | 7 | 2018 | 168,16 | 120947 | 2015,78 | -1,2432 |
| 9 | 32 | 27 | 7 | 2018 | 167,29 | 126644 | 2110,73 | -1,2984 |
| 14 | 1 | 30 | 7 | 2018 | 166,71 | 131233 | 2187,22 | -1,3353 |
| 12 | 46 | 6 | 8 | 2018 | 166,16 | 141238 | 2353,97 | -1,3702 |
| 10 | 47 | 13 | 8 | 2018 | 166,10 | 151199 | 2519,98 | -1,3740 |
| 10 | 54 | 20 | 8 | 2018 | 166,10 | 161286 | 2688,10 | -1,3740 |

Dados do provete PASTA 3

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 187,73 |
| Secção (cm²) | 15,74 |
| Altura (cm) | 6,09 |
| Saturação crítica (%) | 56 |

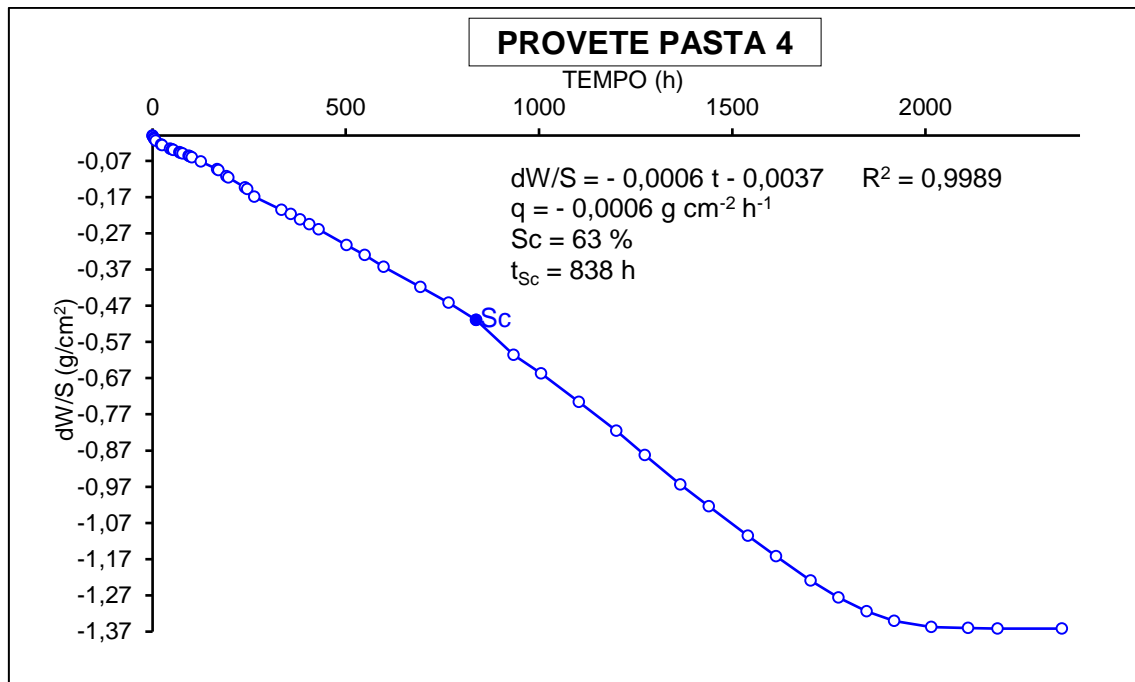


Anexo 36 - Ensaio de evaporação – Provete PASTA 4

| PROVETE PASTA 4 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 4 | 30 | 4 | 2018 | 188,18 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 54 | 30 | 4 | 2018 | 188,14 | 50 | 0,83 | -0,0025 |
| 14 | 16 | 30 | 4 | 2018 | 188,08 | 192 | 3,20 | -0,0063 |
| 16 | 36 | 30 | 4 | 2018 | 188,02 | 332 | 5,53 | -0,0101 |
| 19 | 19 | 30 | 4 | 2018 | 187,95 | 495 | 8,25 | -0,0145 |
| 9 | 25 | 1 | 5 | 2018 | 187,78 | 1341 | 22,35 | -0,0253 |
| 11 | 49 | 1 | 5 | 2018 | 187,75 | 1485 | 24,75 | -0,0272 |
| 8 | 54 | 2 | 5 | 2018 | 187,60 | 2750 | 45,83 | -0,0366 |
| 13 | 49 | 2 | 5 | 2018 | 187,57 | 3045 | 50,75 | -0,0385 |
| 16 | 48 | 2 | 5 | 2018 | 187,55 | 3224 | 53,73 | -0,0398 |
| 8 | 53 | 3 | 5 | 2018 | 187,44 | 4189 | 69,82 | -0,0467 |
| 12 | 17 | 3 | 5 | 2018 | 187,42 | 4393 | 73,22 | -0,0480 |
| 17 | 25 | 3 | 5 | 2018 | 187,39 | 4701 | 78,35 | -0,0499 |
| 9 | 13 | 4 | 5 | 2018 | 187,29 | 5649 | 94,15 | -0,0562 |
| 12 | 22 | 4 | 5 | 2018 | 187,27 | 5838 | 97,30 | -0,0575 |
| 17 | 23 | 4 | 5 | 2018 | 187,22 | 6139 | 102,32 | -0,0606 |
| 16 | 5 | 5 | 5 | 2018 | 187,04 | 7501 | 125,02 | -0,0720 |
| 10 | 16 | 7 | 5 | 2018 | 186,71 | 10032 | 167,20 | -0,0928 |
| 14 | 11 | 7 | 5 | 2018 | 186,66 | 10267 | 171,12 | -0,0960 |
| 10 | 18 | 8 | 5 | 2018 | 186,40 | 11474 | 191,23 | -0,1124 |
| 15 | 11 | 8 | 5 | 2018 | 186,34 | 11767 | 196,12 | -0,1162 |
| 10 | 56 | 10 | 5 | 2018 | 185,91 | 14392 | 239,87 | -0,1434 |
| 16 | 5 | 10 | 5 | 2018 | 185,83 | 14701 | 245,02 | -0,1484 |
| 10 | 48 | 11 | 5 | 2018 | 185,50 | 15824 | 263,73 | -0,1693 |
| 8 | 57 | 14 | 5 | 2018 | 184,93 | 20033 | 333,88 | -0,2053 |
| 9 | 0 | 15 | 5 | 2018 | 184,75 | 21476 | 357,93 | -0,2166 |
| 8 | 57 | 16 | 5 | 2018 | 184,50 | 22913 | 381,88 | -0,2324 |
| 8 | 50 | 17 | 5 | 2018 | 184,29 | 24346 | 405,77 | -0,2457 |
| 8 | 53 | 18 | 5 | 2018 | 184,07 | 25789 | 429,82 | -0,2596 |
| 8 | 52 | 21 | 5 | 2018 | 183,39 | 30108 | 501,80 | -0,3025 |
| 8 | 47 | 23 | 5 | 2018 | 182,95 | 32983 | 549,72 | -0,3303 |
| 9 | 31 | 25 | 5 | 2018 | 182,44 | 35907 | 598,45 | -0,3625 |
| 8 | 53 | 29 | 5 | 2018 | 181,55 | 41629 | 693,82 | -0,4187 |
| 9 | 6 | 1 | 6 | 2018 | 180,86 | 45962 | 766,03 | -0,4623 |
| 8 | 56 | 4 | 6 | 2018 | 180,11 | 50272 | 837,87 | -0,5097 |
| 9 | 32 | 8 | 6 | 2018 | 178,59 | 56068 | 934,47 | -0,6057 |
| 8 | 47 | 11 | 6 | 2018 | 177,77 | 60343 | 1005,72 | -0,6575 |
| 10 | 26 | 15 | 6 | 2018 | 176,53 | 66202 | 1103,37 | -0,7358 |
| 11 | 9 | 19 | 6 | 2018 | 175,26 | 72005 | 1200,08 | -0,8160 |
| 12 | 55 | 22 | 6 | 2018 | 174,20 | 76431 | 1273,85 | -0,8829 |
| 9 | 37 | 26 | 6 | 2018 | 172,91 | 81993 | 1366,55 | -0,9644 |
| 10 | 51 | 29 | 6 | 2018 | 171,97 | 86387 | 1439,78 | -1,0238 |
| 15 | 53 | 3 | 7 | 2018 | 170,67 | 92449 | 1540,82 | -1,1059 |
| 16 | 43 | 6 | 7 | 2018 | 169,78 | 96819 | 1613,65 | -1,1621 |
| 9 | 59 | 10 | 7 | 2018 | 168,72 | 102175 | 1702,92 | -1,2290 |
| 10 | 17 | 13 | 7 | 2018 | 167,97 | 106513 | 1775,22 | -1,2764 |
| 11 | 26 | 16 | 7 | 2018 | 167,37 | 110902 | 1848,37 | -1,3143 |
| 10 | 20 | 19 | 7 | 2018 | 166,95 | 115156 | 1919,27 | -1,3408 |
| 10 | 36 | 23 | 7 | 2018 | 166,69 | 120932 | 2015,53 | -1,3572 |
| 9 | 33 | 27 | 7 | 2018 | 166,64 | 126629 | 2110,48 | -1,3604 |
| 14 | 1 | 30 | 7 | 2018 | 166,62 | 131217 | 2186,95 | -1,3617 |
| 12 | 47 | 6 | 8 | 2018 | 166,62 | 141223 | 2353,72 | -1,3617 |

Dados do provete PASTA 4

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 188,18 |
| Secção (cm²) | 15,83 |
| Altura (cm) | 6,17 |
| Saturação crítica (%) | 63 |

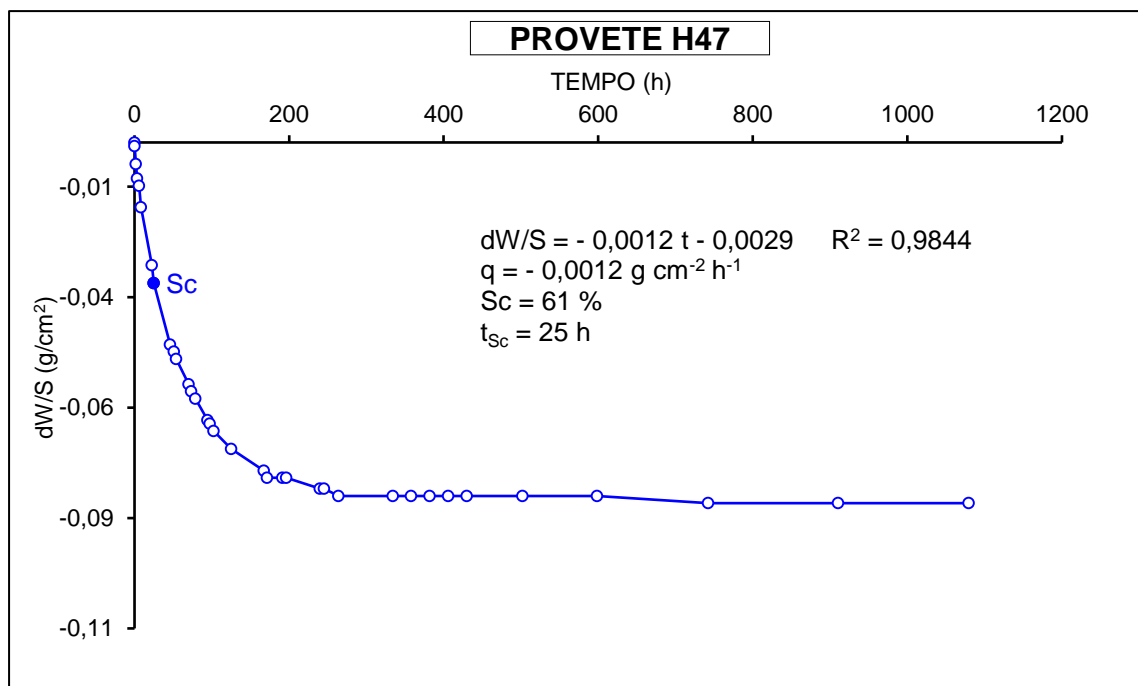


Anexo 37 - Ensaio de evaporação – Provete H47

| PROVETE H47 | | | | | | | | |
|-------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 42 | 30 | 4 | 2018 | 184,23 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 2 | 30 | 4 | 2018 | 184,22 | 20 | 0,33 | -0,0008 |
| 12 | 32 | 30 | 4 | 2018 | 184,17 | 110 | 1,83 | -0,0049 |
| 14 | 13 | 30 | 4 | 2018 | 184,13 | 211 | 3,52 | -0,0082 |
| 16 | 34 | 30 | 4 | 2018 | 184,11 | 352 | 5,87 | -0,0098 |
| 19 | 16 | 30 | 4 | 2018 | 184,05 | 514 | 8,57 | -0,0147 |
| 9 | 20 | 1 | 5 | 2018 | 183,89 | 1358 | 22,63 | -0,0278 |
| 11 | 46 | 1 | 5 | 2018 | 183,84 | 1504 | 25,07 | -0,0318 |
| 8 | 49 | 2 | 5 | 2018 | 183,67 | 2767 | 46,12 | -0,0457 |
| 13 | 44 | 2 | 5 | 2018 | 183,65 | 3062 | 51,03 | -0,0474 |
| 16 | 43 | 2 | 5 | 2018 | 183,63 | 3241 | 54,02 | -0,0490 |
| 8 | 48 | 3 | 5 | 2018 | 183,56 | 4206 | 70,10 | -0,0547 |
| 12 | 12 | 3 | 5 | 2018 | 183,54 | 4410 | 73,50 | -0,0563 |
| 17 | 22 | 3 | 5 | 2018 | 183,52 | 4720 | 78,67 | -0,0580 |
| 9 | 8 | 4 | 5 | 2018 | 183,46 | 5666 | 94,43 | -0,0629 |
| 12 | 19 | 4 | 5 | 2018 | 183,45 | 5857 | 97,62 | -0,0637 |
| 17 | 18 | 4 | 5 | 2018 | 183,43 | 6156 | 102,60 | -0,0653 |
| 16 | 2 | 5 | 5 | 2018 | 183,38 | 7520 | 125,33 | -0,0694 |
| 10 | 11 | 7 | 5 | 2018 | 183,32 | 10049 | 167,48 | -0,0743 |
| 14 | 6 | 7 | 5 | 2018 | 183,30 | 10284 | 171,40 | -0,0759 |
| 10 | 13 | 8 | 5 | 2018 | 183,30 | 11491 | 191,52 | -0,0759 |
| 15 | 6 | 8 | 5 | 2018 | 183,30 | 11784 | 196,40 | -0,0759 |
| 10 | 50 | 10 | 5 | 2018 | 183,27 | 14408 | 240,13 | -0,0784 |
| 16 | 1 | 10 | 5 | 2018 | 183,27 | 14719 | 245,32 | -0,0784 |
| 10 | 43 | 11 | 5 | 2018 | 183,25 | 15841 | 264,02 | -0,0800 |
| 8 | 53 | 14 | 5 | 2018 | 183,25 | 20051 | 334,18 | -0,0800 |
| 8 | 52 | 15 | 5 | 2018 | 183,25 | 21490 | 358,17 | -0,0800 |
| 8 | 52 | 16 | 5 | 2018 | 183,25 | 22930 | 382,17 | -0,0800 |
| 8 | 45 | 17 | 5 | 2018 | 183,25 | 24363 | 406,05 | -0,0800 |
| 8 | 48 | 18 | 5 | 2018 | 183,25 | 25806 | 430,10 | -0,0800 |
| 8 | 46 | 21 | 5 | 2018 | 183,25 | 30124 | 502,07 | -0,0800 |
| 9 | 26 | 25 | 5 | 2018 | 183,25 | 35924 | 598,73 | -0,0800 |
| 9 | 1 | 1 | 6 | 2018 | 183,23 | 44539 | 742,32 | -0,0816 |
| 9 | 22 | 8 | 6 | 2018 | 183,23 | 54640 | 910,67 | -0,0816 |
| 10 | 21 | 15 | 6 | 2018 | 183,23 | 64779 | 1079,65 | -0,0816 |

Dados do provete H47

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 184,23 |
| Secção (cm²) | 12,25 |
| Altura (cm) | 5,70 |
| Saturação crítica (%) | 61 |

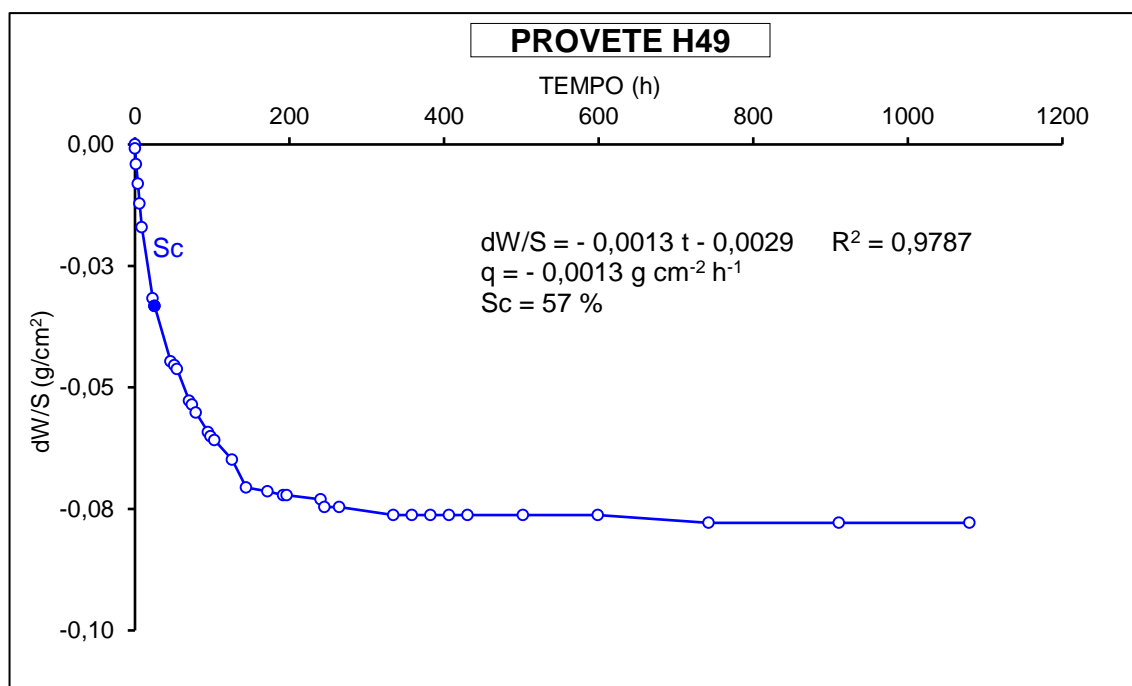


Anexo 38 - Ensaio de evaporação – Provete H49

| PROVETE H49 | | | | | | | | |
|-------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 21 | 30 | 4 | 2018 | 184,48 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 45 | 30 | 4 | 2018 | 184,47 | 24 | 0,40 | -0,0008 |
| 11 | 57 | 30 | 4 | 2018 | 184,43 | 96 | 1,60 | -0,0041 |
| 14 | 9 | 30 | 4 | 2018 | 184,38 | 228 | 3,80 | -0,0081 |
| 16 | 31 | 30 | 4 | 2018 | 184,33 | 370 | 6,17 | -0,0122 |
| 19 | 14 | 30 | 4 | 2018 | 184,27 | 533 | 8,88 | -0,0170 |
| 9 | 15 | 1 | 5 | 2018 | 184,09 | 1374 | 22,90 | -0,0316 |
| 11 | 44 | 1 | 5 | 2018 | 184,07 | 1523 | 25,38 | -0,0333 |
| 8 | 43 | 2 | 5 | 2018 | 183,93 | 2782 | 46,37 | -0,0446 |
| 13 | 40 | 2 | 5 | 2018 | 183,92 | 3079 | 51,32 | -0,0454 |
| 16 | 39 | 2 | 5 | 2018 | 183,91 | 3258 | 54,30 | -0,0462 |
| 8 | 44 | 3 | 5 | 2018 | 183,83 | 4223 | 70,38 | -0,0527 |
| 12 | 8 | 3 | 5 | 2018 | 183,82 | 4427 | 73,78 | -0,0535 |
| 17 | 19 | 3 | 5 | 2018 | 183,80 | 4738 | 78,97 | -0,0552 |
| 9 | 3 | 4 | 5 | 2018 | 183,75 | 5682 | 94,70 | -0,0592 |
| 12 | 15 | 4 | 5 | 2018 | 183,74 | 5874 | 97,90 | -0,0600 |
| 17 | 15 | 4 | 5 | 2018 | 183,73 | 6174 | 102,90 | -0,0608 |
| 16 | 0 | 5 | 5 | 2018 | 183,68 | 7539 | 125,65 | -0,0649 |
| 10 | 7 | 7 | 5 | 2018 | 183,61 | 8626 | 143,77 | -0,0706 |
| 14 | 2 | 7 | 5 | 2018 | 183,60 | 10301 | 171,68 | -0,0714 |
| 10 | 9 | 8 | 5 | 2018 | 183,59 | 11508 | 191,80 | -0,0722 |
| 15 | 1 | 8 | 5 | 2018 | 183,59 | 11800 | 196,67 | -0,0722 |
| 10 | 45 | 10 | 5 | 2018 | 183,58 | 14424 | 240,40 | -0,0730 |
| 15 | 57 | 10 | 5 | 2018 | 183,56 | 14736 | 245,60 | -0,0746 |
| 10 | 38 | 11 | 5 | 2018 | 183,56 | 15857 | 264,28 | -0,0746 |
| 8 | 49 | 14 | 5 | 2018 | 183,54 | 20068 | 334,47 | -0,0762 |
| 8 | 47 | 15 | 5 | 2018 | 183,54 | 21506 | 358,43 | -0,0762 |
| 8 | 48 | 16 | 5 | 2018 | 183,54 | 22947 | 382,45 | -0,0762 |
| 8 | 42 | 17 | 5 | 2018 | 183,54 | 24381 | 406,35 | -0,0762 |
| 8 | 43 | 18 | 5 | 2018 | 183,54 | 25822 | 430,37 | -0,0762 |
| 8 | 42 | 21 | 5 | 2018 | 183,54 | 30141 | 502,35 | -0,0762 |
| 9 | 21 | 25 | 5 | 2018 | 183,54 | 35940 | 599,00 | -0,0762 |
| 8 | 57 | 1 | 6 | 2018 | 183,52 | 44556 | 742,60 | -0,0779 |
| 9 | 14 | 8 | 6 | 2018 | 183,52 | 54653 | 910,88 | -0,0779 |
| 10 | 17 | 15 | 6 | 2018 | 183,52 | 64796 | 1079,93 | -0,0779 |

Dados do provete H49

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 184,48 |
| Secção (cm ²) | 12,33 |
| Altura (cm) | 5,71 |
| Saturação crítica (%) | 57 |

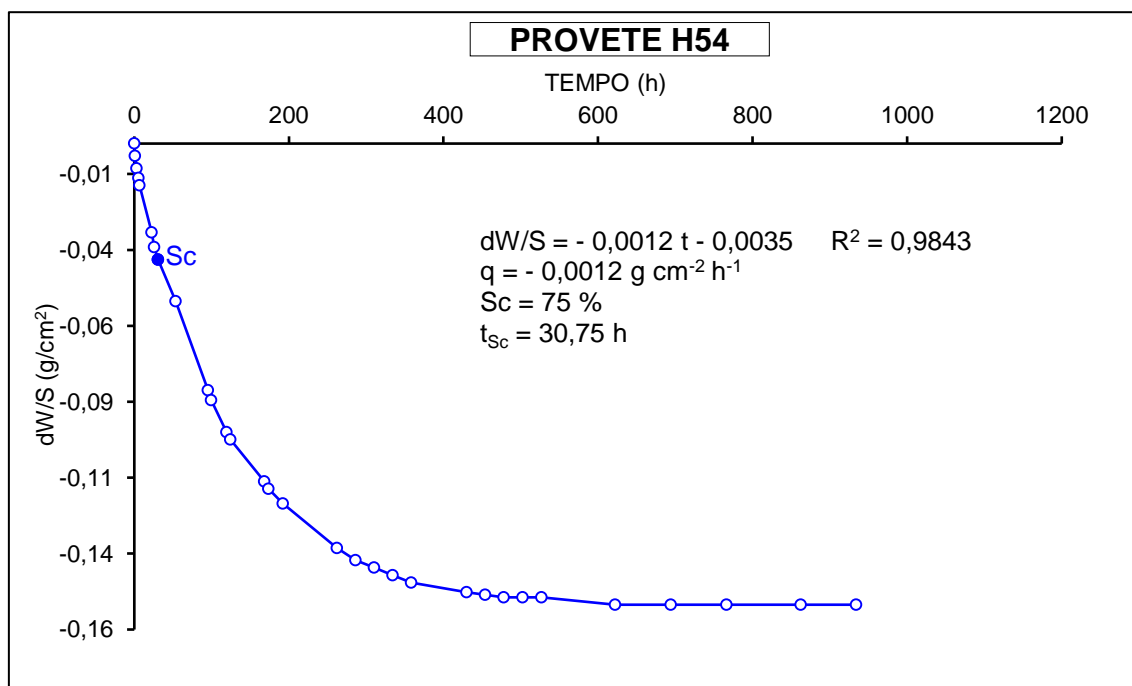


Anexo 39 – Ensaio de evaporação – Provete H54

| PROVETE H54 | | | | | | | | |
|-------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|--------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 16 | 3 | 5 | 2018 | 181,15 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 7 | 3 | 5 | 2018 | 181,10 | 51 | 0,85 | -0,0041 |
| 13 | 23 | 3 | 5 | 2018 | 181,05 | 187 | 3,12 | -0,0081 |
| 15 | 43 | 3 | 5 | 2018 | 181,01 | 327 | 5,45 | -0,0114 |
| 17 | 9 | 3 | 5 | 2018 | 180,98 | 413 | 6,88 | -0,0138 |
| 8 | 49 | 4 | 5 | 2018 | 180,79 | 1353 | 22,55 | -0,0292 |
| 12 | 0 | 4 | 5 | 2018 | 180,73 | 1544 | 25,73 | -0,0341 |
| 17 | 1 | 4 | 5 | 2018 | 180,68 | 1845 | 30,75 | -0,0382 |
| 15 | 50 | 5 | 5 | 2018 | 180,51 | 3214 | 53,57 | -0,0520 |
| 9 | 49 | 7 | 5 | 2018 | 180,15 | 5733 | 95,55 | -0,0812 |
| 13 | 47 | 7 | 5 | 2018 | 180,11 | 5971 | 99,52 | -0,0844 |
| 9 | 53 | 8 | 5 | 2018 | 179,98 | 7177 | 119,62 | -0,0950 |
| 14 | 45 | 8 | 5 | 2018 | 179,95 | 7469 | 124,48 | -0,0974 |
| 10 | 26 | 10 | 5 | 2018 | 179,78 | 10090 | 168,17 | -0,1112 |
| 15 | 45 | 10 | 5 | 2018 | 179,75 | 10409 | 173,48 | -0,1137 |
| 10 | 23 | 11 | 5 | 2018 | 179,69 | 11527 | 192,12 | -0,1185 |
| 8 | 33 | 14 | 5 | 2018 | 179,51 | 15737 | 262,28 | -0,1332 |
| 8 | 30 | 15 | 5 | 2018 | 179,46 | 17174 | 286,23 | -0,1372 |
| 8 | 35 | 16 | 5 | 2018 | 179,43 | 18619 | 310,32 | -0,1397 |
| 8 | 28 | 17 | 5 | 2018 | 179,40 | 20052 | 334,20 | -0,1421 |
| 8 | 28 | 18 | 5 | 2018 | 179,37 | 21492 | 358,20 | -0,1445 |
| 8 | 28 | 21 | 5 | 2018 | 179,33 | 25812 | 430,20 | -0,1478 |
| 8 | 29 | 22 | 5 | 2018 | 179,32 | 27253 | 454,22 | -0,1486 |
| 8 | 28 | 23 | 5 | 2018 | 179,31 | 28692 | 478,20 | -0,1494 |
| 8 | 44 | 24 | 5 | 2018 | 179,31 | 30148 | 502,47 | -0,1494 |
| 9 | 7 | 25 | 5 | 2018 | 179,31 | 31611 | 526,85 | -0,1494 |
| 8 | 35 | 29 | 5 | 2018 | 179,28 | 37339 | 622,32 | -0,1518 |
| 8 | 32 | 1 | 6 | 2018 | 179,28 | 41656 | 694,27 | -0,1518 |
| 8 | 37 | 4 | 6 | 2018 | 179,28 | 45981 | 766,35 | -0,1518 |
| 8 | 48 | 8 | 6 | 2018 | 179,28 | 51752 | 862,53 | -0,1518 |
| 8 | 28 | 11 | 6 | 2018 | 179,28 | 56052 | 934,20 | -0,1518 |

Dados do provete H54

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 181,15 |
| Secção (cm ²) | 12,32 |
| Altura (cm) | 5,72 |
| Saturação crítica (%) | 75 |

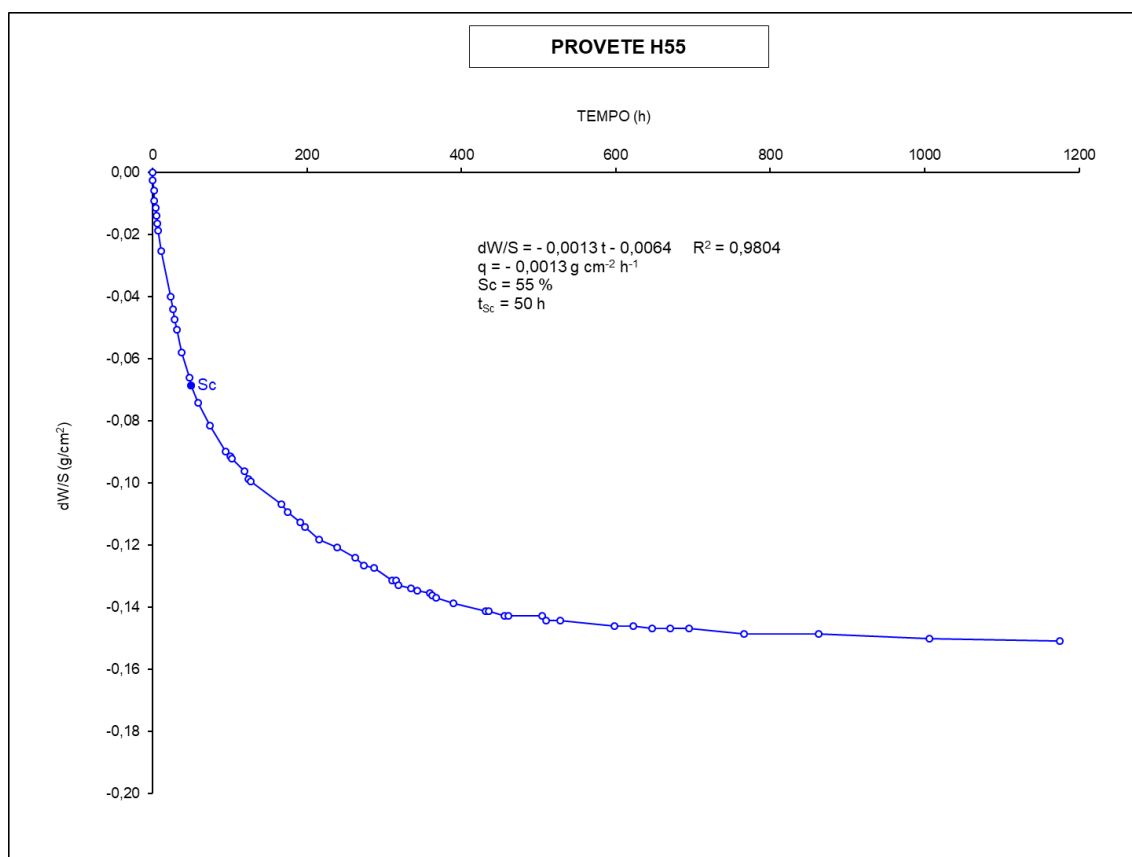


Anexo 40 - Ensaio de evaporação – Provete H55

| PROVETE H55 | | | | | | | | |
|-------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 9 | 58 | 19 | 4 | 2018 | 185,36 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 13 | 19 | 4 | 2018 | 185,33 | 15 | 0,25 | -0,0024 |
| 11 | 27 | 19 | 4 | 2018 | 185,29 | 89 | 1,48 | -0,0057 |
| 12 | 25 | 19 | 4 | 2018 | 185,25 | 147 | 2,45 | -0,0090 |
| 13 | 31 | 19 | 4 | 2018 | 185,22 | 213 | 3,55 | -0,0114 |
| 14 | 31 | 19 | 4 | 2018 | 185,19 | 273 | 4,55 | -0,0139 |
| 15 | 35 | 19 | 4 | 2018 | 185,16 | 337 | 5,62 | -0,0163 |
| 17 | 2 | 19 | 4 | 2018 | 185,13 | 424 | 7,07 | -0,0188 |
| 21 | 2 | 19 | 4 | 2018 | 185,05 | 664 | 11,07 | -0,0253 |
| 8 | 56 | 20 | 4 | 2018 | 184,87 | 1378 | 22,97 | -0,0400 |
| 12 | 17 | 20 | 4 | 2018 | 184,82 | 1579 | 26,32 | -0,0441 |
| 14 | 36 | 20 | 4 | 2018 | 184,78 | 1718 | 28,63 | -0,0473 |
| 16 | 57 | 20 | 4 | 2018 | 184,74 | 1859 | 30,98 | -0,0506 |
| 23 | 36 | 20 | 4 | 2018 | 184,65 | 2258 | 37,63 | -0,0579 |
| 9 | 21 | 21 | 4 | 2018 | 184,55 | 2843 | 47,38 | -0,0661 |
| 11 | 32 | 21 | 4 | 2018 | 184,52 | 2974 | 49,57 | -0,0685 |
| 20 | 28 | 21 | 4 | 2018 | 184,45 | 3510 | 58,50 | -0,0743 |
| 12 | 29 | 22 | 4 | 2018 | 184,36 | 4471 | 74,52 | -0,0816 |
| 8 | 27 | 23 | 4 | 2018 | 184,26 | 5669 | 94,48 | -0,0898 |
| 14 | 32 | 23 | 4 | 2018 | 184,24 | 6034 | 100,57 | -0,0914 |
| 16 | 30 | 23 | 4 | 2018 | 184,23 | 6152 | 102,53 | -0,0922 |
| 8 | 44 | 24 | 4 | 2018 | 184,18 | 7126 | 118,77 | -0,0963 |
| 14 | 1 | 24 | 4 | 2018 | 184,15 | 7443 | 124,05 | -0,0987 |
| 16 | 49 | 24 | 4 | 2018 | 184,14 | 7611 | 126,85 | -0,0996 |
| 8 | 47 | 26 | 4 | 2018 | 184,05 | 10009 | 166,82 | -0,1069 |
| 17 | 3 | 26 | 4 | 2018 | 184,02 | 10505 | 175,08 | -0,1094 |
| 8 | 44 | 27 | 4 | 2018 | 183,98 | 11446 | 190,77 | -0,1126 |
| 14 | 55 | 27 | 4 | 2018 | 183,96 | 11817 | 196,95 | -0,1142 |
| 9 | 16 | 28 | 4 | 2018 | 183,91 | 12918 | 215,30 | -0,1183 |
| 9 | 14 | 29 | 4 | 2018 | 183,88 | 14356 | 239,27 | -0,1208 |
| 8 | 37 | 30 | 4 | 2018 | 183,84 | 15759 | 262,65 | -0,1240 |
| 19 | 11 | 30 | 4 | 2018 | 183,81 | 16393 | 273,22 | -0,1265 |
| 9 | 10 | 1 | 5 | 2018 | 183,80 | 17232 | 287,20 | -0,1273 |
| 8 | 39 | 2 | 5 | 2018 | 183,75 | 18641 | 310,68 | -0,1314 |
| 13 | 36 | 2 | 5 | 2018 | 183,75 | 18938 | 315,63 | -0,1314 |
| 16 | 35 | 2 | 5 | 2018 | 183,73 | 19117 | 318,62 | -0,1330 |
| 8 | 39 | 3 | 5 | 2018 | 183,72 | 20081 | 334,68 | -0,1338 |
| 17 | 5 | 3 | 5 | 2018 | 183,71 | 20587 | 343,12 | -0,1346 |
| 8 | 44 | 4 | 5 | 2018 | 183,70 | 21526 | 358,77 | -0,1355 |
| 11 | 54 | 4 | 5 | 2018 | 183,69 | 21716 | 361,93 | -0,1363 |
| 16 | 55 | 4 | 5 | 2018 | 183,68 | 22017 | 366,95 | -0,1371 |
| 15 | 46 | 5 | 5 | 2018 | 183,66 | 23388 | 389,80 | -0,1387 |
| 9 | 44 | 7 | 5 | 2018 | 183,63 | 25906 | 431,77 | -0,1412 |
| 13 | 42 | 7 | 5 | 2018 | 183,63 | 26144 | 435,73 | -0,1412 |
| 9 | 48 | 8 | 5 | 2018 | 183,61 | 27350 | 455,83 | -0,1428 |
| 14 | 39 | 8 | 5 | 2018 | 183,61 | 27641 | 460,68 | -0,1428 |
| 10 | 21 | 10 | 5 | 2018 | 183,61 | 30263 | 504,38 | -0,1428 |
| 15 | 38 | 10 | 5 | 2018 | 183,59 | 30580 | 509,67 | -0,1444 |
| 10 | 17 | 11 | 5 | 2018 | 183,59 | 31699 | 528,32 | -0,1444 |
| 8 | 27 | 14 | 5 | 2018 | 183,57 | 35909 | 598,48 | -0,1461 |
| 8 | 24 | 15 | 5 | 2018 | 183,57 | 37346 | 622,43 | -0,1461 |
| 8 | 30 | 16 | 5 | 2018 | 183,56 | 38792 | 646,53 | -0,1469 |
| 8 | 23 | 17 | 5 | 2018 | 183,56 | 40225 | 670,42 | -0,1469 |
| 8 | 23 | 18 | 5 | 2018 | 183,56 | 41665 | 694,42 | -0,1469 |
| 8 | 23 | 21 | 5 | 2018 | 183,54 | 45985 | 766,42 | -0,1485 |
| 9 | 2 | 25 | 5 | 2018 | 183,54 | 51784 | 863,07 | -0,1485 |
| 8 | 27 | 1 | 6 | 2018 | 183,52 | 60389 | 1006,48 | -0,1502 |
| 8 | 37 | 8 | 6 | 2018 | 183,51 | 70479 | 1174,65 | -0,1510 |

Dados do provete H55

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 185,36 |
| Secção (cm ²) | 12,25 |
| Altura (cm) | 5,80 |
| Saturação crítica (%) | 55 |

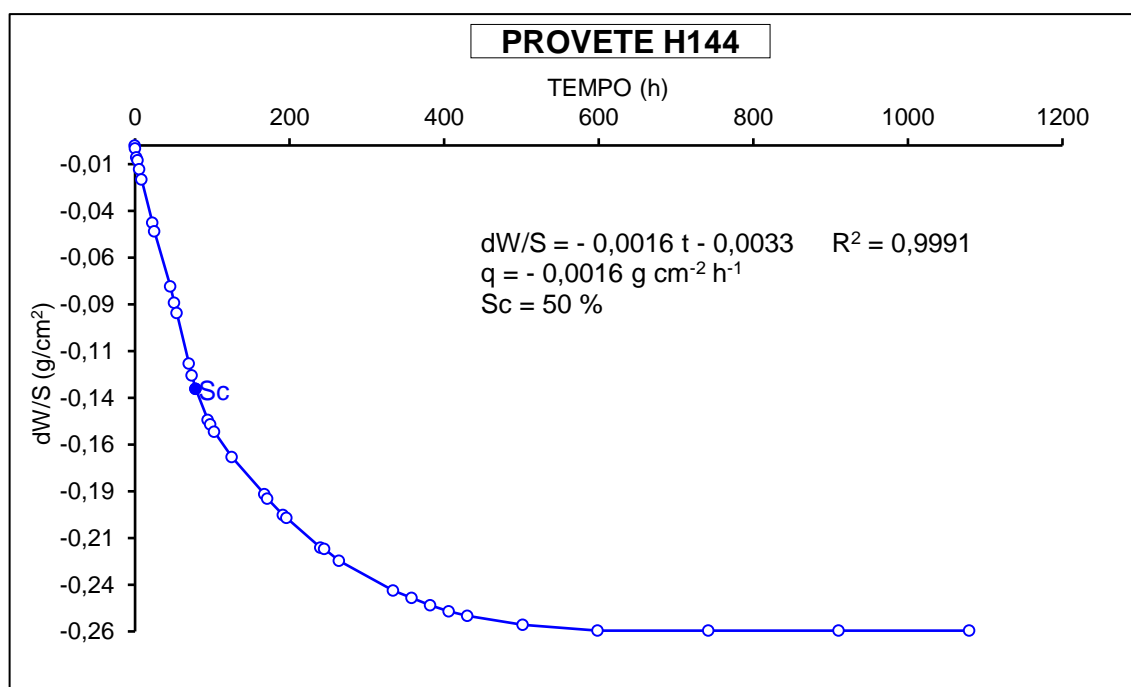


Anexo 41 - Ensaio de evaporação – Provete H144

| PROVETE H144 | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas |
| 10 | 53 | 30 | 4 | 2018 | 186,47 | 0 | 0,00 |
| 11 | 16 | 30 | 4 | 2018 | 186,45 | 23 | 0,38 |
| 12 | 34 | 30 | 4 | 2018 | 186,39 | 101 | 1,68 |
| 14 | 14 | 30 | 4 | 2018 | 186,37 | 201 | 3,35 |
| 16 | 35 | 30 | 4 | 2018 | 186,31 | 342 | 5,70 |
| 19 | 18 | 30 | 4 | 2018 | 186,24 | 505 | 8,42 |
| 9 | 23 | 1 | 5 | 2018 | 185,95 | 1350 | 22,50 |
| 11 | 47 | 1 | 5 | 2018 | 185,89 | 1494 | 24,90 |
| 8 | 51 | 2 | 5 | 2018 | 185,52 | 2758 | 45,97 |
| 13 | 47 | 2 | 5 | 2018 | 185,41 | 3054 | 50,90 |
| 16 | 46 | 2 | 5 | 2018 | 185,34 | 3233 | 53,88 |
| 8 | 51 | 3 | 5 | 2018 | 185,00 | 4198 | 69,97 |
| 12 | 15 | 3 | 5 | 2018 | 184,92 | 4402 | 73,37 |
| 17 | 24 | 3 | 5 | 2018 | 184,83 | 4711 | 78,52 |
| 9 | 11 | 4 | 5 | 2018 | 184,62 | 5658 | 94,30 |
| 12 | 21 | 4 | 5 | 2018 | 184,59 | 5848 | 97,47 |
| 17 | 21 | 4 | 5 | 2018 | 184,54 | 6148 | 102,47 |
| 16 | 4 | 5 | 5 | 2018 | 184,37 | 7511 | 125,18 |
| 10 | 14 | 7 | 5 | 2018 | 184,12 | 10041 | 167,35 |
| 14 | 8 | 7 | 5 | 2018 | 184,09 | 10275 | 171,25 |
| 10 | 16 | 8 | 5 | 2018 | 183,98 | 11483 | 191,38 |
| 15 | 8 | 8 | 5 | 2018 | 183,96 | 11775 | 196,25 |
| 10 | 53 | 10 | 5 | 2018 | 183,76 | 14400 | 240,00 |
| 16 | 3 | 10 | 5 | 2018 | 183,75 | 14710 | 245,17 |
| 10 | 45 | 11 | 5 | 2018 | 183,67 | 15832 | 263,87 |
| 8 | 55 | 14 | 5 | 2018 | 183,47 | 20042 | 334,03 |
| 8 | 58 | 15 | 5 | 2018 | 183,42 | 21485 | 358,08 |
| 8 | 55 | 16 | 5 | 2018 | 183,37 | 22922 | 382,03 |
| 8 | 48 | 17 | 5 | 2018 | 183,33 | 24355 | 405,92 |
| 8 | 51 | 18 | 5 | 2018 | 183,30 | 25798 | 429,97 |
| 8 | 50 | 21 | 5 | 2018 | 183,24 | 30117 | 501,95 |
| 9 | 28 | 25 | 5 | 2018 | 183,20 | 35915 | 598,58 |
| 9 | 4 | 1 | 6 | 2018 | 183,20 | 44531 | 742,18 |
| 9 | 27 | 8 | 6 | 2018 | 183,20 | 54634 | 910,57 |
| 10 | 24 | 15 | 6 | 2018 | 183,20 | 64771 | 1079,52 |

Dados do provete H144

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 186,47 |
| Secção (cm ²) | 12,60 |
| Altura (cm) | 5,86 |
| Saturação crítica (%) | 50 |

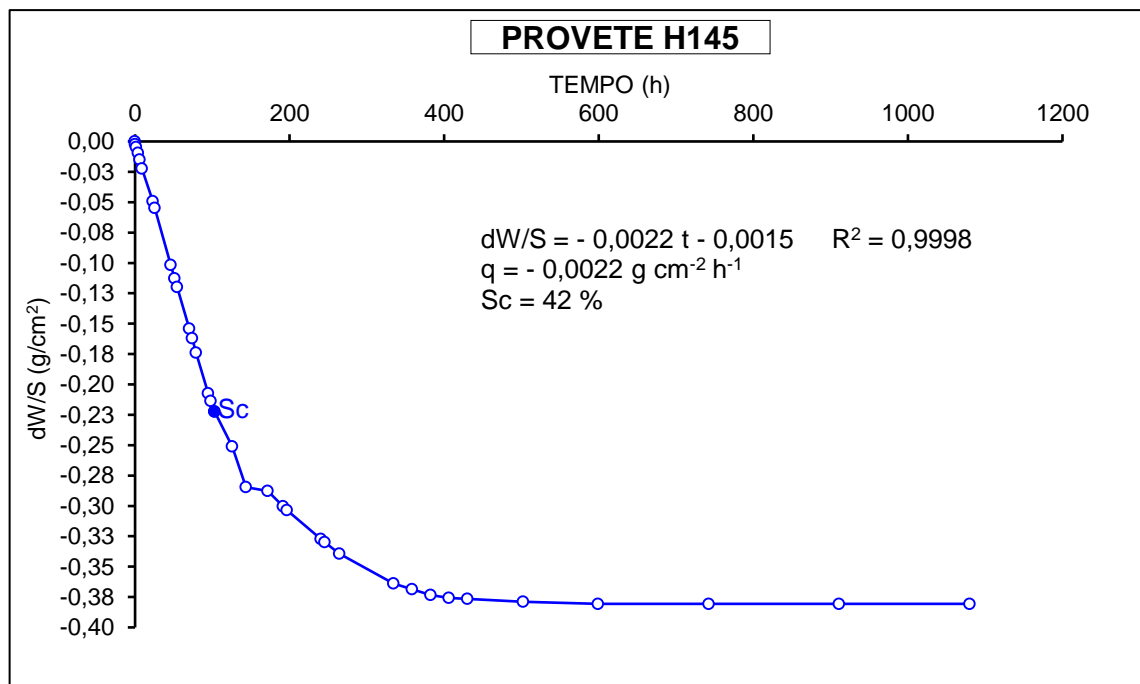


Anexo 42 - Ensaio de evaporação – Provete H145

| PROVETE H145 | | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 23 | 30 | 4 | 2018 | 182,98 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 45 | 30 | 4 | 2018 | 182,95 | 22 | 0,37 | -0,0024 |
| 11 | 57 | 30 | 4 | 2018 | 182,92 | 94 | 1,57 | -0,0048 |
| 14 | 9 | 30 | 4 | 2018 | 182,86 | 226 | 3,77 | -0,0095 |
| 16 | 31 | 30 | 4 | 2018 | 182,79 | 368 | 6,13 | -0,0151 |
| 19 | 14 | 30 | 4 | 2018 | 182,70 | 531 | 8,85 | -0,0222 |
| 9 | 15 | 1 | 5 | 2018 | 182,36 | 1372 | 22,87 | -0,0493 |
| 11 | 44 | 1 | 5 | 2018 | 182,29 | 1521 | 25,35 | -0,0548 |
| 8 | 44 | 2 | 5 | 2018 | 181,70 | 2781 | 46,35 | -0,1017 |
| 13 | 40 | 2 | 5 | 2018 | 181,56 | 3077 | 51,28 | -0,1128 |
| 16 | 40 | 2 | 5 | 2018 | 181,47 | 3257 | 54,28 | -0,1200 |
| 8 | 44 | 3 | 5 | 2018 | 181,04 | 4221 | 70,35 | -0,1541 |
| 12 | 9 | 3 | 5 | 2018 | 180,94 | 4426 | 73,77 | -0,1621 |
| 17 | 20 | 3 | 5 | 2018 | 180,79 | 4737 | 78,95 | -0,1740 |
| 9 | 4 | 4 | 5 | 2018 | 180,37 | 5681 | 94,68 | -0,2074 |
| 12 | 15 | 4 | 5 | 2018 | 180,29 | 5872 | 97,87 | -0,2137 |
| 17 | 15 | 4 | 5 | 2018 | 180,18 | 6172 | 102,87 | -0,2225 |
| 16 | 0 | 5 | 5 | 2018 | 179,82 | 7537 | 125,62 | -0,2511 |
| 10 | 7 | 7 | 5 | 2018 | 179,40 | 8624 | 143,73 | -0,2845 |
| 14 | 2 | 7 | 5 | 2018 | 179,36 | 10299 | 171,65 | -0,2876 |
| 10 | 9 | 8 | 5 | 2018 | 179,20 | 11506 | 191,77 | -0,3004 |
| 15 | 1 | 8 | 5 | 2018 | 179,16 | 11798 | 196,63 | -0,3035 |
| 10 | 46 | 10 | 5 | 2018 | 178,86 | 14423 | 240,38 | -0,3274 |
| 15 | 57 | 10 | 5 | 2018 | 178,83 | 14734 | 245,57 | -0,3298 |
| 10 | 39 | 11 | 5 | 2018 | 178,71 | 15856 | 264,27 | -0,3393 |
| 8 | 49 | 14 | 5 | 2018 | 178,40 | 20066 | 334,43 | -0,3639 |
| 8 | 48 | 15 | 5 | 2018 | 178,34 | 21505 | 358,42 | -0,3687 |
| 8 | 48 | 16 | 5 | 2018 | 178,28 | 22945 | 382,42 | -0,3735 |
| 8 | 42 | 17 | 5 | 2018 | 178,25 | 24379 | 406,32 | -0,3758 |
| 8 | 43 | 18 | 5 | 2018 | 178,24 | 25820 | 430,33 | -0,3766 |
| 8 | 42 | 21 | 5 | 2018 | 178,21 | 30139 | 502,32 | -0,3790 |
| 9 | 21 | 25 | 5 | 2018 | 178,19 | 35938 | 598,97 | -0,3806 |
| 8 | 58 | 1 | 6 | 2018 | 178,19 | 44555 | 742,58 | -0,3806 |
| 9 | 15 | 8 | 6 | 2018 | 178,19 | 54652 | 910,87 | -0,3806 |
| 10 | 17 | 15 | 6 | 2018 | 178,19 | 64794 | 1079,90 | -0,3806 |

Dados do provete H145

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 182,98 |
| Secção (cm ²) | 12,59 |
| Altura (cm) | 5,91 |
| Saturação crítica (%) | 42 |

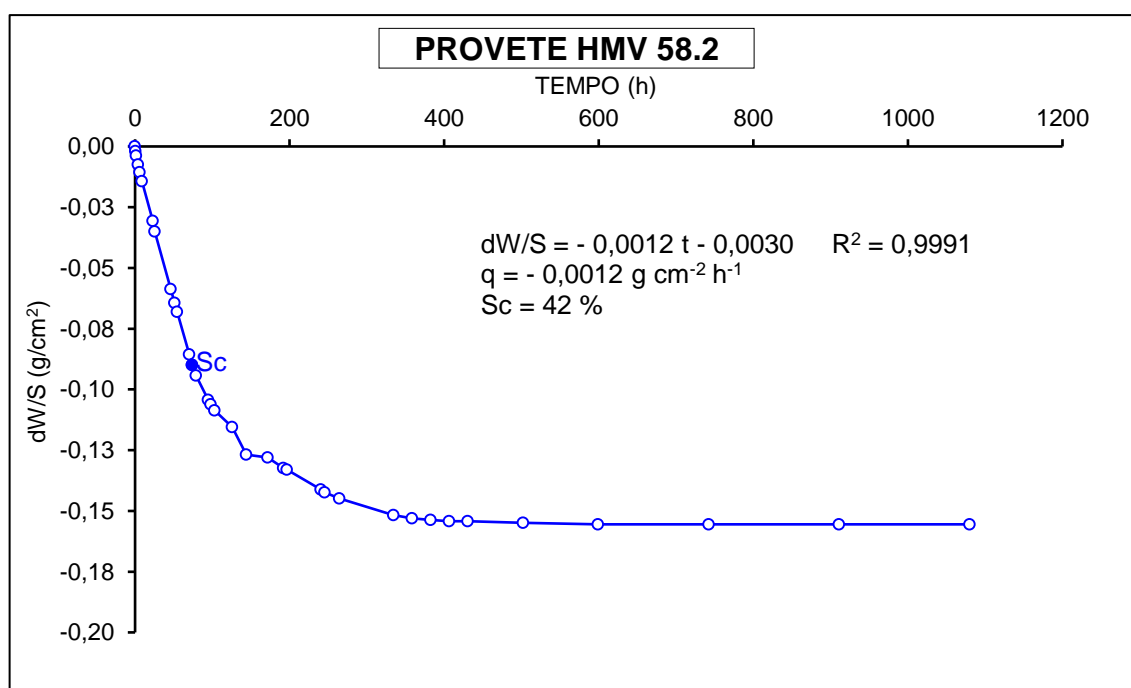


Anexo 43 - Ensaio de evaporação – Provete HMV 58.2

| PROVETE HMV 58.2 | | | | | | | | |
|------------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 19 | 30 | 4 | 2018 | 235,13 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 45 | 30 | 4 | 2018 | 235,1 | 26 | 0,43 | -0,0019 |
| 11 | 56 | 30 | 4 | 2018 | 235,07 | 97 | 1,62 | -0,0037 |
| 14 | 9 | 30 | 4 | 2018 | 235,01 | 230 | 3,83 | -0,0075 |
| 16 | 31 | 30 | 4 | 2018 | 234,96 | 372 | 6,20 | -0,0106 |
| 19 | 13 | 30 | 4 | 2018 | 234,9 | 534 | 8,90 | -0,0144 |
| 9 | 14 | 1 | 5 | 2018 | 234,64 | 1375 | 22,92 | -0,0306 |
| 11 | 44 | 1 | 5 | 2018 | 234,57 | 1525 | 25,42 | -0,0350 |
| 8 | 43 | 2 | 5 | 2018 | 234,19 | 2784 | 46,40 | -0,0587 |
| 13 | 40 | 2 | 5 | 2018 | 234,1 | 3081 | 51,35 | -0,0643 |
| 16 | 39 | 2 | 5 | 2018 | 234,04 | 3260 | 54,33 | -0,0681 |
| 8 | 43 | 3 | 5 | 2018 | 233,76 | 4224 | 70,40 | -0,0856 |
| 12 | 8 | 3 | 5 | 2018 | 233,69 | 4429 | 73,82 | -0,0899 |
| 17 | 19 | 3 | 5 | 2018 | 233,62 | 4740 | 79,00 | -0,0943 |
| 9 | 3 | 4 | 5 | 2018 | 233,46 | 5684 | 94,73 | -0,1043 |
| 12 | 14 | 4 | 5 | 2018 | 233,43 | 5875 | 97,92 | -0,1062 |
| 17 | 14 | 4 | 5 | 2018 | 233,39 | 6175 | 102,92 | -0,1087 |
| 16 | 0 | 5 | 5 | 2018 | 233,28 | 7541 | 125,68 | -0,1155 |
| 10 | 6 | 7 | 5 | 2018 | 233,1 | 8627 | 143,78 | -0,1268 |
| 14 | 1 | 7 | 5 | 2018 | 233,08 | 10302 | 171,70 | -0,1280 |
| 10 | 8 | 8 | 5 | 2018 | 233,01 | 11509 | 191,82 | -0,1324 |
| 15 | 0 | 8 | 5 | 2018 | 233 | 11801 | 196,68 | -0,1330 |
| 10 | 45 | 10 | 5 | 2018 | 232,87 | 14426 | 240,43 | -0,1412 |
| 15 | 56 | 10 | 5 | 2018 | 232,85 | 14737 | 245,62 | -0,1424 |
| 10 | 38 | 11 | 5 | 2018 | 232,81 | 15859 | 264,32 | -0,1449 |
| 8 | 48 | 14 | 5 | 2018 | 232,7 | 20069 | 334,48 | -0,1518 |
| 8 | 47 | 15 | 5 | 2018 | 232,68 | 21508 | 358,47 | -0,1530 |
| 8 | 47 | 16 | 5 | 2018 | 232,67 | 22948 | 382,47 | -0,1536 |
| 8 | 41 | 17 | 5 | 2018 | 232,66 | 24382 | 406,37 | -0,1543 |
| 8 | 43 | 18 | 5 | 2018 | 232,66 | 25824 | 430,40 | -0,1543 |
| 8 | 42 | 21 | 5 | 2018 | 232,65 | 30143 | 502,38 | -0,1549 |
| 9 | 21 | 25 | 5 | 2018 | 232,64 | 35942 | 599,03 | -0,1555 |
| 8 | 57 | 1 | 6 | 2018 | 232,64 | 44558 | 742,63 | -0,1555 |
| 9 | 13 | 8 | 6 | 2018 | 232,64 | 54654 | 910,90 | -0,1555 |
| 10 | 17 | 15 | 6 | 2018 | 232,64 | 64798 | 1079,97 | -0,1555 |

Dados do provete HMV 58.2

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 235,13 |
| Secção (cm ²) | 16,01 |
| Altura (cm) | 5,94 |
| Saturação crítica (%) | 42 |

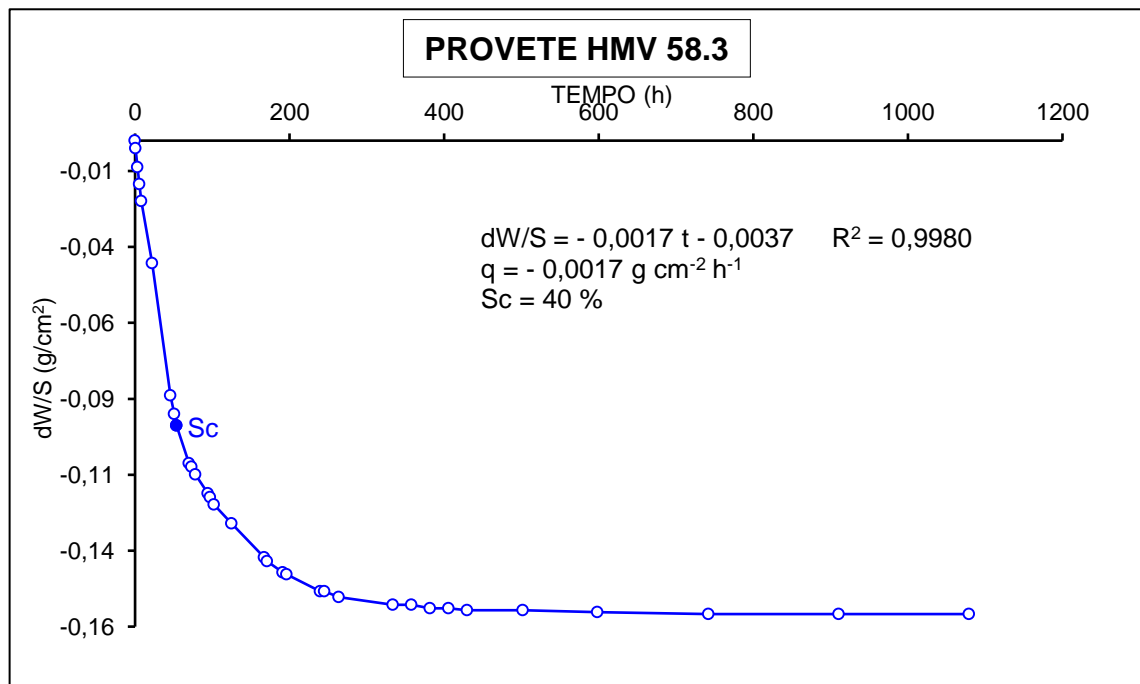


Anexo 44 - Ensaio de evaporação – Provete HMV 58.3

| PROVETE HMV 58.3 | | | | | | | | |
|------------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 12 | 30 | 4 | 2018 | 235,05 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 55 | 30 | 4 | 2018 | 235,01 | 43 | 0,72 | -0,0025 |
| 14 | 17 | 30 | 4 | 2018 | 234,91 | 185 | 3,08 | -0,0087 |
| 16 | 37 | 30 | 4 | 2018 | 234,82 | 325 | 5,42 | -0,0143 |
| 19 | 20 | 30 | 4 | 2018 | 234,73 | 488 | 8,13 | -0,0199 |
| 9 | 27 | 1 | 5 | 2018 | 234,40 | 1335 | 22,25 | -0,0404 |
| 8 | 56 | 2 | 5 | 2018 | 233,70 | 2744 | 45,73 | -0,0838 |
| 13 | 50 | 2 | 5 | 2018 | 233,60 | 3038 | 50,63 | -0,0900 |
| 16 | 50 | 2 | 5 | 2018 | 233,54 | 3218 | 53,63 | -0,0938 |
| 8 | 55 | 3 | 5 | 2018 | 233,34 | 4183 | 69,72 | -0,1062 |
| 12 | 18 | 3 | 5 | 2018 | 233,32 | 4386 | 73,10 | -0,1074 |
| 17 | 27 | 3 | 5 | 2018 | 233,28 | 4695 | 78,25 | -0,1099 |
| 9 | 15 | 4 | 5 | 2018 | 233,18 | 5643 | 94,05 | -0,1161 |
| 12 | 24 | 4 | 5 | 2018 | 233,16 | 5832 | 97,20 | -0,1174 |
| 17 | 24 | 4 | 5 | 2018 | 233,12 | 6132 | 102,20 | -0,1199 |
| 16 | 6 | 5 | 5 | 2018 | 233,02 | 7494 | 124,90 | -0,1261 |
| 10 | 19 | 7 | 5 | 2018 | 232,84 | 10027 | 167,12 | -0,1372 |
| 14 | 12 | 7 | 5 | 2018 | 232,82 | 10260 | 171,00 | -0,1385 |
| 10 | 20 | 8 | 5 | 2018 | 232,76 | 11468 | 191,13 | -0,1422 |
| 15 | 13 | 8 | 5 | 2018 | 232,75 | 11761 | 196,02 | -0,1428 |
| 10 | 58 | 10 | 5 | 2018 | 232,66 | 14386 | 239,77 | -0,1484 |
| 16 | 6 | 10 | 5 | 2018 | 232,66 | 14694 | 244,90 | -0,1484 |
| 10 | 49 | 11 | 5 | 2018 | 232,63 | 15817 | 263,62 | -0,1503 |
| 8 | 59 | 14 | 5 | 2018 | 232,59 | 20027 | 333,78 | -0,1528 |
| 9 | 1 | 15 | 5 | 2018 | 232,59 | 21469 | 357,82 | -0,1528 |
| 8 | 59 | 16 | 5 | 2018 | 232,57 | 22907 | 381,78 | -0,1540 |
| 8 | 52 | 17 | 5 | 2018 | 232,57 | 24340 | 405,67 | -0,1540 |
| 8 | 55 | 18 | 5 | 2018 | 232,56 | 25783 | 429,72 | -0,1546 |
| 8 | 54 | 21 | 5 | 2018 | 232,56 | 30102 | 501,70 | -0,1546 |
| 9 | 33 | 25 | 5 | 2018 | 232,55 | 35901 | 598,35 | -0,1553 |
| 9 | 8 | 1 | 6 | 2018 | 232,54 | 44516 | 741,93 | -0,1559 |
| 9 | 35 | 8 | 6 | 2018 | 232,54 | 54623 | 910,38 | -0,1559 |
| 10 | 28 | 15 | 6 | 2018 | 232,54 | 64756 | 1079,27 | -0,1559 |

Dados do provete HMV 58.3

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 235,05 |
| Secção (cm ²) | 16,10 |
| Altura (cm) | 5,68 |
| Saturação crítica (%) | 40 |

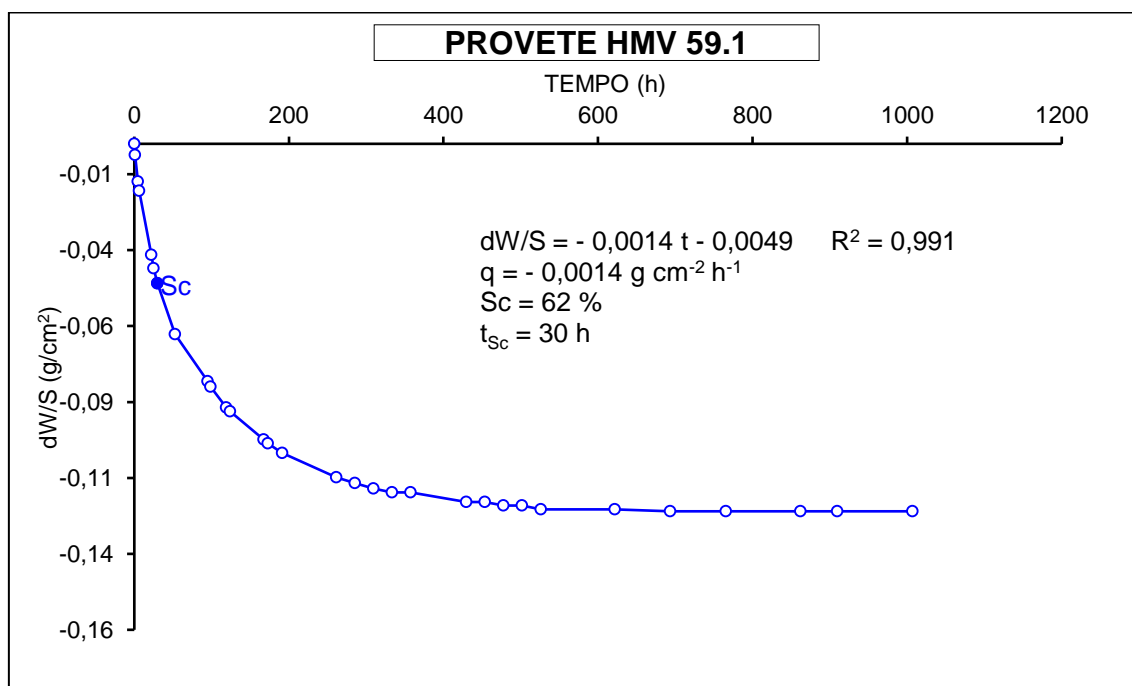


Anexo 45 - Ensaio de evaporação – Provete HMV 59.1

| PROVETE HMV 59.1 | | | | | | | | |
|------------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 3 | 3 | 5 | 2018 | 237,25 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 12 | 2 | 3 | 5 | 2018 | 237,19 | 59 | 0,98 | -0,0037 |
| 15 | 51 | 3 | 5 | 2018 | 237,05 | 288 | 4,80 | -0,0124 |
| 17 | 14 | 3 | 5 | 2018 | 237,00 | 371 | 6,18 | -0,0155 |
| 8 | 57 | 4 | 5 | 2018 | 236,66 | 1314 | 21,90 | -0,0366 |
| 12 | 9 | 4 | 5 | 2018 | 236,59 | 1506 | 25,10 | -0,0410 |
| 17 | 8 | 4 | 5 | 2018 | 236,51 | 1805 | 30,08 | -0,0459 |
| 15 | 56 | 5 | 5 | 2018 | 236,24 | 3173 | 52,88 | -0,0627 |
| 10 | 0 | 7 | 5 | 2018 | 235,99 | 5697 | 94,95 | -0,0782 |
| 13 | 55 | 7 | 5 | 2018 | 235,96 | 5932 | 98,87 | -0,0800 |
| 10 | 1 | 8 | 5 | 2018 | 235,85 | 7138 | 118,97 | -0,0869 |
| 14 | 54 | 8 | 5 | 2018 | 235,83 | 7431 | 123,85 | -0,0881 |
| 10 | 37 | 10 | 5 | 2018 | 235,68 | 10054 | 167,57 | -0,0974 |
| 15 | 51 | 10 | 5 | 2018 | 235,66 | 10368 | 172,80 | -0,0987 |
| 10 | 32 | 11 | 5 | 2018 | 235,61 | 11489 | 191,48 | -0,1018 |
| 8 | 41 | 14 | 5 | 2018 | 235,48 | 15698 | 261,63 | -0,1098 |
| 8 | 40 | 15 | 5 | 2018 | 235,45 | 17137 | 285,62 | -0,1117 |
| 8 | 42 | 16 | 5 | 2018 | 235,42 | 18579 | 309,65 | -0,1135 |
| 8 | 35 | 17 | 5 | 2018 | 235,40 | 20012 | 333,53 | -0,1148 |
| 8 | 37 | 18 | 5 | 2018 | 235,40 | 21454 | 357,57 | -0,1148 |
| 8 | 36 | 21 | 5 | 2018 | 235,35 | 25773 | 429,55 | -0,1179 |
| 8 | 37 | 22 | 5 | 2018 | 235,35 | 27214 | 453,57 | -0,1179 |
| 8 | 35 | 23 | 5 | 2018 | 235,33 | 28652 | 477,53 | -0,1191 |
| 8 | 50 | 24 | 5 | 2018 | 235,33 | 30107 | 501,78 | -0,1191 |
| 9 | 14 | 25 | 5 | 2018 | 235,31 | 31571 | 526,18 | -0,1204 |
| 8 | 41 | 29 | 5 | 2018 | 235,31 | 37298 | 621,63 | -0,1204 |
| 8 | 41 | 1 | 6 | 2018 | 235,30 | 41618 | 693,63 | -0,1210 |
| 8 | 44 | 4 | 6 | 2018 | 235,30 | 45941 | 765,68 | -0,1210 |
| 9 | 1 | 8 | 6 | 2018 | 235,30 | 51718 | 861,97 | -0,1210 |
| 8 | 35 | 11 | 6 | 2018 | 235,30 | 54572 | 909,53 | -0,1210 |
| 10 | 11 | 15 | 6 | 2018 | 235,30 | 60428 | 1007,13 | -0,1210 |

Dados do provete 59.1

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 237,25 |
| Secção (cm²) | 16,12 |
| Altura (cm) | 5,64 |
| Saturação crítica (%) | 62 |

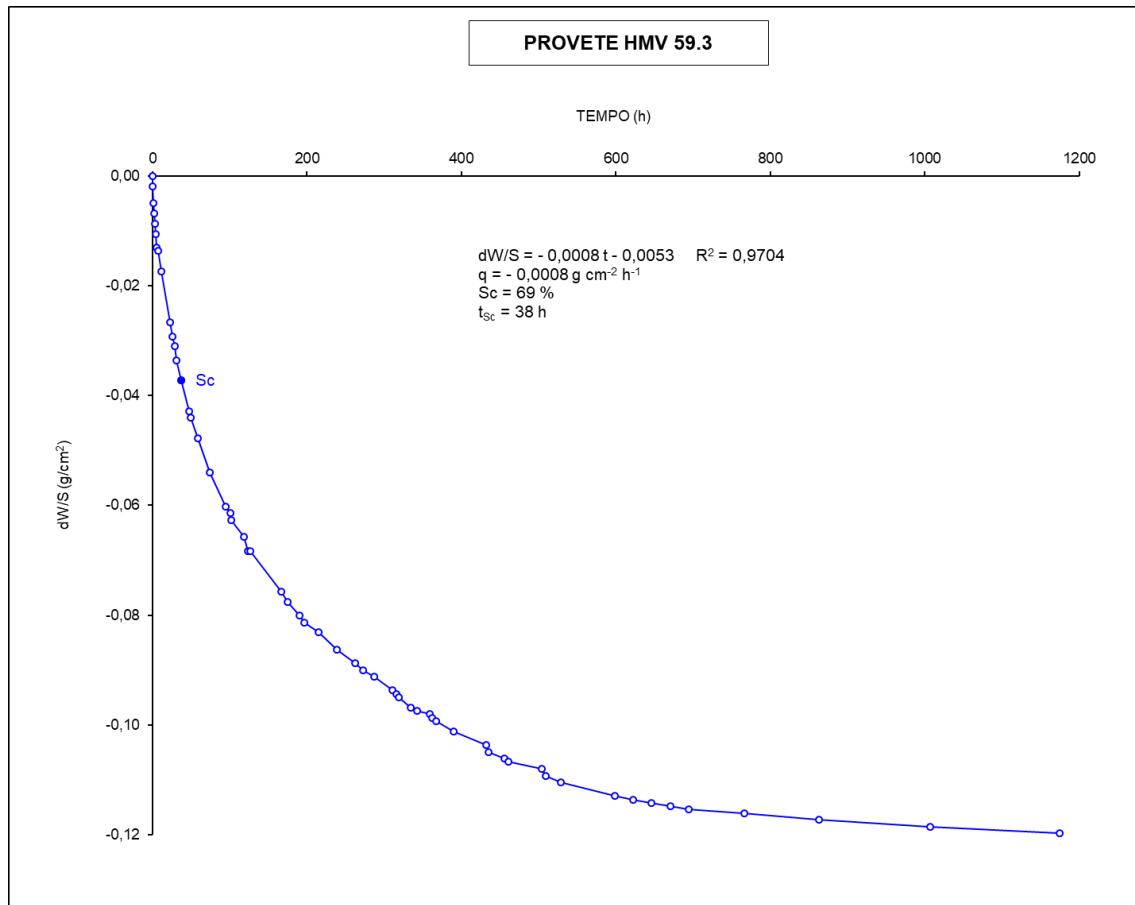


Anexo 46 - Ensaio de evaporação – Provete HMV 59.3

| PROVETE 59.3 | | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 9 | 53 | 19 | 4 | 2018 | 237,94 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 12 | 19 | 4 | 2018 | 237,91 | 19 | 0,32 | -0,0019 |
| 11 | 26 | 19 | 4 | 2018 | 237,86 | 93 | 1,55 | -0,0050 |
| 12 | 24 | 19 | 4 | 2018 | 237,83 | 151 | 2,52 | -0,0068 |
| 13 | 30 | 19 | 4 | 2018 | 237,80 | 217 | 3,62 | -0,0087 |
| 14 | 29 | 19 | 4 | 2018 | 237,77 | 276 | 4,60 | -0,0106 |
| 15 | 34 | 19 | 4 | 2018 | 237,73 | 341 | 5,68 | -0,0130 |
| 17 | 0 | 19 | 4 | 2018 | 237,72 | 427 | 7,12 | -0,0137 |
| 21 | 1 | 19 | 4 | 2018 | 237,66 | 668 | 11,13 | -0,0174 |
| 8 | 55 | 20 | 4 | 2018 | 237,51 | 1382 | 23,03 | -0,0267 |
| 12 | 16 | 20 | 4 | 2018 | 237,47 | 1583 | 26,38 | -0,0292 |
| 14 | 35 | 20 | 4 | 2018 | 237,44 | 1722 | 28,70 | -0,0310 |
| 16 | 56 | 20 | 4 | 2018 | 237,40 | 1863 | 31,05 | -0,0335 |
| 23 | 35 | 20 | 4 | 2018 | 237,34 | 2262 | 37,70 | -0,0372 |
| 9 | 19 | 21 | 4 | 2018 | 237,25 | 2846 | 47,43 | -0,0428 |
| 11 | 31 | 21 | 4 | 2018 | 237,23 | 2978 | 49,63 | -0,0441 |
| 20 | 27 | 21 | 4 | 2018 | 237,17 | 3514 | 58,57 | -0,0478 |
| 12 | 28 | 22 | 4 | 2018 | 237,07 | 4475 | 74,58 | -0,0540 |
| 8 | 26 | 23 | 4 | 2018 | 236,97 | 5673 | 94,55 | -0,0602 |
| 14 | 31 | 23 | 4 | 2018 | 236,95 | 6038 | 100,63 | -0,0615 |
| 16 | 30 | 23 | 4 | 2018 | 236,93 | 6157 | 102,62 | -0,0627 |
| 8 | 43 | 24 | 4 | 2018 | 236,88 | 7130 | 118,83 | -0,0658 |
| 14 | 0 | 24 | 4 | 2018 | 236,84 | 7447 | 124,12 | -0,0683 |
| 16 | 48 | 24 | 4 | 2018 | 236,84 | 7615 | 126,92 | -0,0683 |
| 8 | 46 | 26 | 4 | 2018 | 236,72 | 10013 | 166,88 | -0,0757 |
| 17 | 2 | 26 | 4 | 2018 | 236,69 | 10509 | 175,15 | -0,0776 |
| 8 | 43 | 27 | 4 | 2018 | 236,65 | 11450 | 190,83 | -0,0801 |
| 14 | 54 | 27 | 4 | 2018 | 236,63 | 11821 | 197,02 | -0,0813 |
| 9 | 15 | 28 | 4 | 2018 | 236,60 | 12922 | 215,37 | -0,0832 |
| 9 | 13 | 29 | 4 | 2018 | 236,55 | 14360 | 239,33 | -0,0863 |
| 8 | 36 | 30 | 4 | 2018 | 236,51 | 15763 | 262,72 | -0,0888 |
| 19 | 11 | 30 | 4 | 2018 | 236,49 | 16398 | 273,30 | -0,0900 |
| 9 | 9 | 1 | 5 | 2018 | 236,47 | 17236 | 287,27 | -0,0912 |
| 8 | 38 | 2 | 5 | 2018 | 236,43 | 18645 | 310,75 | -0,0937 |
| 13 | 35 | 2 | 5 | 2018 | 236,42 | 18942 | 315,70 | -0,0944 |
| 16 | 34 | 2 | 5 | 2018 | 236,41 | 19121 | 318,68 | -0,0950 |
| 8 | 38 | 3 | 5 | 2018 | 236,38 | 20085 | 334,75 | -0,0968 |
| 17 | 4 | 3 | 5 | 2018 | 236,37 | 20591 | 343,18 | -0,0975 |
| 8 | 43 | 4 | 5 | 2018 | 236,36 | 21530 | 358,83 | -0,0981 |
| 11 | 53 | 4 | 5 | 2018 | 236,35 | 21720 | 362,00 | -0,0987 |
| 16 | 54 | 4 | 5 | 2018 | 236,34 | 22021 | 367,02 | -0,0993 |
| 15 | 46 | 5 | 5 | 2018 | 236,31 | 23393 | 389,88 | -0,1012 |
| 9 | 43 | 7 | 5 | 2018 | 236,27 | 25910 | 431,83 | -0,1037 |
| 13 | 41 | 7 | 5 | 2018 | 236,25 | 26148 | 435,80 | -0,1049 |
| 9 | 47 | 8 | 5 | 2018 | 236,23 | 27354 | 455,90 | -0,1061 |
| 14 | 38 | 8 | 5 | 2018 | 236,22 | 27645 | 460,75 | -0,1068 |
| 10 | 20 | 10 | 5 | 2018 | 236,20 | 30267 | 504,45 | -0,1080 |
| 15 | 37 | 10 | 5 | 2018 | 236,18 | 30584 | 509,73 | -0,1092 |
| 10 | 16 | 11 | 5 | 2018 | 236,16 | 31703 | 528,38 | -0,1105 |
| 8 | 26 | 14 | 5 | 2018 | 236,12 | 35913 | 598,55 | -0,1130 |
| 8 | 23 | 15 | 5 | 2018 | 236,11 | 37350 | 622,50 | -0,1136 |
| 8 | 29 | 16 | 5 | 2018 | 236,10 | 38796 | 646,60 | -0,1142 |
| 8 | 21 | 17 | 5 | 2018 | 236,09 | 40228 | 670,47 | -0,1148 |
| 8 | 22 | 18 | 5 | 2018 | 236,08 | 41669 | 694,48 | -0,1155 |
| 8 | 22 | 21 | 5 | 2018 | 236,07 | 45989 | 766,48 | -0,1161 |
| 9 | 1 | 25 | 5 | 2018 | 236,05 | 51788 | 863,13 | -0,1173 |
| 8 | 26 | 1 | 6 | 2018 | 236,03 | 60393 | 1006,55 | -0,1186 |
| 8 | 35 | 8 | 6 | 2018 | 236,01 | 70482 | 1174,70 | -0,1198 |

Dados do provete 59.3

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 237,94 |
| Secção (cm ²) | 16,11 |
| Altura (cm) | 5,64 |
| Saturação crítica (%) | 69 |

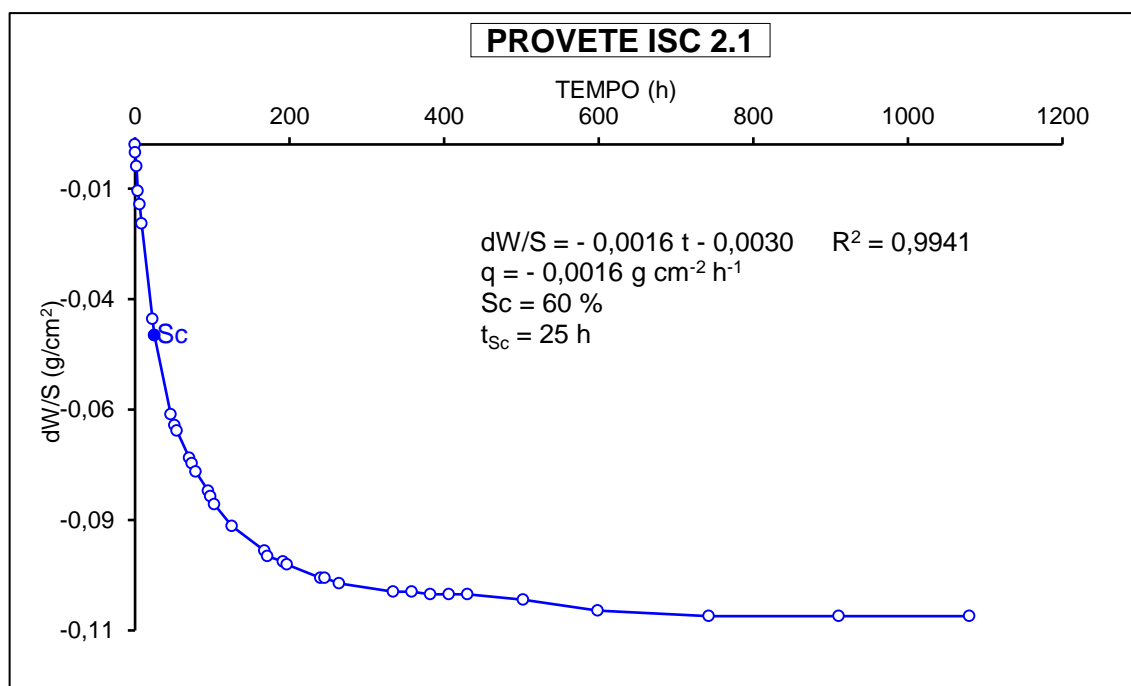


Anexo 47 - Ensaio de evaporação – Provete ISC 2.1

| PROVETE ISC 2.1 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 40 | 30 | 4 | 2018 | 247,27 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 2 | 30 | 4 | 2018 | 247,24 | 22 | 0,37 | -0,0019 |
| 12 | 32 | 30 | 4 | 2018 | 247,19 | 112 | 1,87 | -0,0049 |
| 14 | 13 | 30 | 4 | 2018 | 247,10 | 213 | 3,55 | -0,0105 |
| 16 | 33 | 30 | 4 | 2018 | 247,05 | 353 | 5,88 | -0,0136 |
| 19 | 16 | 30 | 4 | 2018 | 246,98 | 516 | 8,60 | -0,0179 |
| 9 | 19 | 1 | 5 | 2018 | 246,63 | 1359 | 22,65 | -0,0395 |
| 11 | 46 | 1 | 5 | 2018 | 246,57 | 1506 | 25,10 | -0,0432 |
| 8 | 48 | 2 | 5 | 2018 | 246,28 | 2768 | 46,13 | -0,0611 |
| 13 | 44 | 2 | 5 | 2018 | 246,24 | 3064 | 51,07 | -0,0636 |
| 16 | 43 | 2 | 5 | 2018 | 246,22 | 3243 | 54,05 | -0,0648 |
| 8 | 48 | 3 | 5 | 2018 | 246,12 | 4208 | 70,13 | -0,0710 |
| 12 | 12 | 3 | 5 | 2018 | 246,10 | 4412 | 73,53 | -0,0722 |
| 17 | 22 | 3 | 5 | 2018 | 246,07 | 4722 | 78,70 | -0,0741 |
| 9 | 8 | 4 | 5 | 2018 | 246,00 | 5668 | 94,47 | -0,0784 |
| 12 | 18 | 4 | 5 | 2018 | 245,98 | 5858 | 97,63 | -0,0796 |
| 17 | 18 | 4 | 5 | 2018 | 245,95 | 6158 | 102,63 | -0,0815 |
| 16 | 2 | 5 | 5 | 2018 | 245,87 | 7522 | 125,37 | -0,0864 |
| 10 | 11 | 7 | 5 | 2018 | 245,78 | 10051 | 167,52 | -0,0920 |
| 14 | 6 | 7 | 5 | 2018 | 245,76 | 10286 | 171,43 | -0,0932 |
| 10 | 12 | 8 | 5 | 2018 | 245,74 | 11492 | 191,53 | -0,0944 |
| 15 | 5 | 8 | 5 | 2018 | 245,73 | 11785 | 196,42 | -0,0950 |
| 10 | 50 | 10 | 5 | 2018 | 245,68 | 14410 | 240,17 | -0,0981 |
| 16 | 0 | 10 | 5 | 2018 | 245,68 | 14720 | 245,33 | -0,0981 |
| 10 | 42 | 11 | 5 | 2018 | 245,66 | 15842 | 264,03 | -0,0994 |
| 8 | 53 | 14 | 5 | 2018 | 245,63 | 20053 | 334,22 | -0,1012 |
| 8 | 51 | 15 | 5 | 2018 | 245,63 | 21491 | 358,18 | -0,1012 |
| 8 | 52 | 16 | 5 | 2018 | 245,62 | 22932 | 382,20 | -0,1018 |
| 8 | 45 | 17 | 5 | 2018 | 245,62 | 24365 | 406,08 | -0,1018 |
| 8 | 47 | 18 | 5 | 2018 | 245,62 | 25807 | 430,12 | -0,1018 |
| 8 | 45 | 21 | 5 | 2018 | 245,60 | 30125 | 502,08 | -0,1031 |
| 9 | 25 | 25 | 5 | 2018 | 245,56 | 35925 | 598,75 | -0,1055 |
| 9 | 1 | 1 | 6 | 2018 | 245,54 | 44541 | 742,35 | -0,1068 |
| 9 | 22 | 8 | 6 | 2018 | 245,54 | 54642 | 910,70 | -0,1068 |
| 10 | 21 | 15 | 6 | 2018 | 245,54 | 64781 | 1079,68 | -0,1068 |

Dados do provete ISC 2.1

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 247,27 |
| Secção (cm ²) | 16,20 |
| Altura (cm) | 5,92 |
| Saturação crítica (%) | 60 |

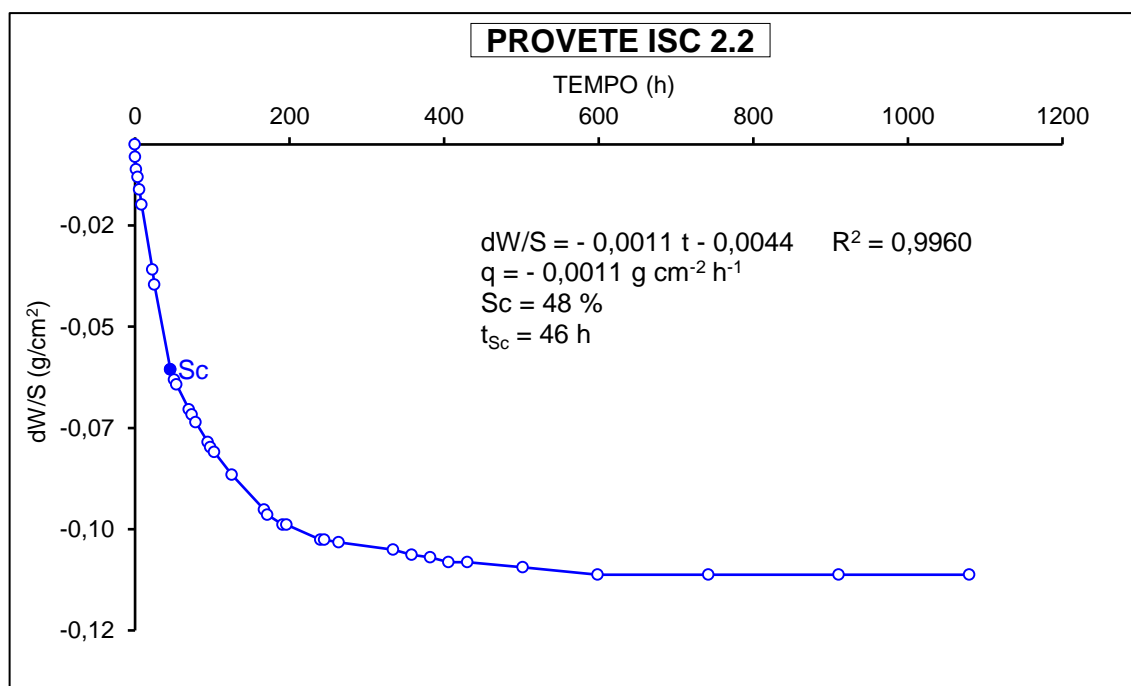


Anexo 48- Ensaio de evaporação – Provete ISC 2.2

| PROVETE ISC 2.2 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 55 | 30 | 4 | 2018 | 245,49 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 17 | 30 | 4 | 2018 | 245,44 | 22 | 0,37 | -0,0031 |
| 12 | 34 | 30 | 4 | 2018 | 245,39 | 99 | 1,65 | -0,0062 |
| 14 | 15 | 30 | 4 | 2018 | 245,36 | 200 | 3,33 | -0,0080 |
| 16 | 35 | 30 | 4 | 2018 | 245,31 | 340 | 5,67 | -0,0111 |
| 19 | 18 | 30 | 4 | 2018 | 245,25 | 503 | 8,38 | -0,0148 |
| 9 | 23 | 1 | 5 | 2018 | 244,99 | 1348 | 22,47 | -0,0309 |
| 11 | 48 | 1 | 5 | 2018 | 244,93 | 1493 | 24,88 | -0,0346 |
| 8 | 52 | 2 | 5 | 2018 | 244,59 | 2757 | 45,95 | -0,0556 |
| 13 | 47 | 2 | 5 | 2018 | 244,55 | 3052 | 50,87 | -0,0581 |
| 16 | 46 | 2 | 5 | 2018 | 244,53 | 3231 | 53,85 | -0,0593 |
| 8 | 51 | 3 | 5 | 2018 | 244,43 | 4196 | 69,93 | -0,0655 |
| 12 | 15 | 3 | 5 | 2018 | 244,41 | 4400 | 73,33 | -0,0667 |
| 17 | 24 | 3 | 5 | 2018 | 244,38 | 4709 | 78,48 | -0,0686 |
| 9 | 11 | 4 | 5 | 2018 | 244,30 | 5656 | 94,27 | -0,0735 |
| 12 | 21 | 4 | 5 | 2018 | 244,28 | 5846 | 97,43 | -0,0747 |
| 17 | 21 | 4 | 5 | 2018 | 244,26 | 6146 | 102,43 | -0,0760 |
| 16 | 4 | 5 | 5 | 2018 | 244,17 | 7509 | 125,15 | -0,0815 |
| 10 | 14 | 7 | 5 | 2018 | 244,03 | 10039 | 167,32 | -0,0902 |
| 14 | 9 | 7 | 5 | 2018 | 244,01 | 10274 | 171,23 | -0,0914 |
| 10 | 16 | 8 | 5 | 2018 | 243,97 | 11481 | 191,35 | -0,0939 |
| 15 | 9 | 8 | 5 | 2018 | 243,97 | 11774 | 196,23 | -0,0939 |
| 10 | 54 | 10 | 5 | 2018 | 243,91 | 14399 | 239,98 | -0,0976 |
| 16 | 3 | 10 | 5 | 2018 | 243,91 | 14708 | 245,13 | -0,0976 |
| 10 | 45 | 11 | 5 | 2018 | 243,90 | 15830 | 263,83 | -0,0982 |
| 8 | 56 | 14 | 5 | 2018 | 243,87 | 20041 | 334,02 | -0,1001 |
| 8 | 58 | 15 | 5 | 2018 | 243,85 | 21483 | 358,05 | -0,1013 |
| 8 | 56 | 16 | 5 | 2018 | 243,84 | 22921 | 382,02 | -0,1019 |
| 8 | 49 | 17 | 5 | 2018 | 243,82 | 24354 | 405,90 | -0,1032 |
| 8 | 52 | 18 | 5 | 2018 | 243,82 | 25797 | 429,95 | -0,1032 |
| 8 | 50 | 21 | 5 | 2018 | 243,80 | 30115 | 501,92 | -0,1044 |
| 9 | 28 | 25 | 5 | 2018 | 243,77 | 35913 | 598,55 | -0,1062 |
| 9 | 4 | 1 | 6 | 2018 | 243,77 | 44529 | 742,15 | -0,1062 |
| 9 | 28 | 8 | 6 | 2018 | 243,77 | 54633 | 910,55 | -0,1062 |
| 10 | 24 | 15 | 6 | 2018 | 243,77 | 64769 | 1079,48 | -0,1062 |

Dados do provete ISC 2.2

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 245,49 |
| Secção (cm ²) | 16,19 |
| Altura (cm) | 5,87 |
| Saturação crítica (%) | 48 |

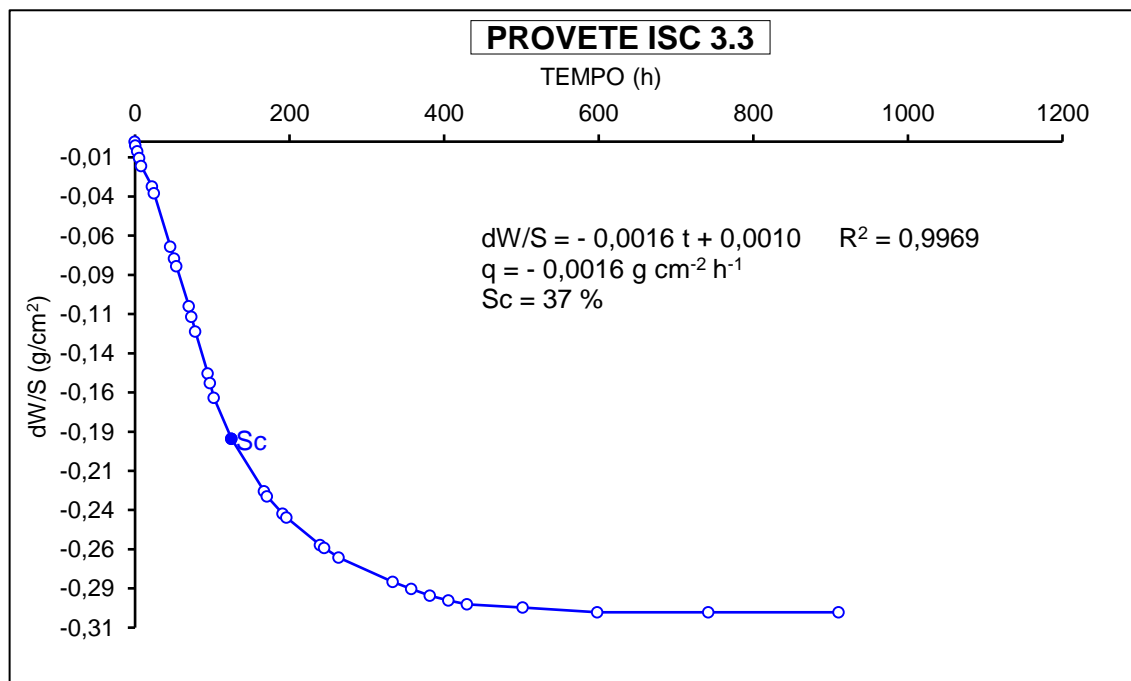


Anexo 49 - Ensaio de evaporação – Provete ISC 3.3

| PROVETE ISC 3.3 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 13 | 30 | 4 | 2018 | 227,92 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 55 | 30 | 4 | 2018 | 227,88 | 42 | 0,70 | -0,0025 |
| 14 | 17 | 30 | 4 | 2018 | 227,82 | 184 | 3,07 | -0,0062 |
| 16 | 37 | 30 | 4 | 2018 | 227,75 | 324 | 5,40 | -0,0106 |
| 19 | 20 | 30 | 4 | 2018 | 227,67 | 487 | 8,12 | -0,0155 |
| 9 | 28 | 1 | 5 | 2018 | 227,46 | 1335 | 22,25 | -0,0286 |
| 11 | 50 | 1 | 5 | 2018 | 227,39 | 1477 | 24,62 | -0,0329 |
| 8 | 57 | 2 | 5 | 2018 | 226,84 | 2744 | 45,73 | -0,0671 |
| 13 | 51 | 2 | 5 | 2018 | 226,72 | 3038 | 50,63 | -0,0746 |
| 16 | 50 | 2 | 5 | 2018 | 226,64 | 3217 | 53,62 | -0,0796 |
| 8 | 55 | 3 | 5 | 2018 | 226,23 | 4182 | 69,70 | -0,1050 |
| 12 | 18 | 3 | 5 | 2018 | 226,12 | 4385 | 73,08 | -0,1119 |
| 17 | 27 | 3 | 5 | 2018 | 225,97 | 4694 | 78,23 | -0,1212 |
| 9 | 15 | 4 | 5 | 2018 | 225,54 | 5642 | 94,03 | -0,1479 |
| 12 | 24 | 4 | 5 | 2018 | 225,44 | 5831 | 97,18 | -0,1541 |
| 17 | 25 | 4 | 5 | 2018 | 225,29 | 6132 | 102,20 | -0,1635 |
| 16 | 6 | 5 | 5 | 2018 | 224,87 | 7493 | 124,88 | -0,1896 |
| 10 | 19 | 7 | 5 | 2018 | 224,33 | 10026 | 167,10 | -0,2231 |
| 14 | 15 | 7 | 5 | 2018 | 224,28 | 10262 | 171,03 | -0,2262 |
| 10 | 20 | 8 | 5 | 2018 | 224,10 | 11467 | 191,12 | -0,2374 |
| 15 | 13 | 8 | 5 | 2018 | 224,06 | 11760 | 196,00 | -0,2399 |
| 10 | 58 | 10 | 5 | 2018 | 223,78 | 14385 | 239,75 | -0,2573 |
| 16 | 6 | 10 | 5 | 2018 | 223,75 | 14693 | 244,88 | -0,2592 |
| 10 | 50 | 11 | 5 | 2018 | 223,65 | 15817 | 263,62 | -0,2654 |
| 8 | 59 | 14 | 5 | 2018 | 223,40 | 20026 | 333,77 | -0,2809 |
| 9 | 2 | 15 | 5 | 2018 | 223,33 | 21469 | 357,82 | -0,2853 |
| 8 | 59 | 16 | 5 | 2018 | 223,26 | 22906 | 381,77 | -0,2896 |
| 8 | 52 | 17 | 5 | 2018 | 223,21 | 24339 | 405,65 | -0,2928 |
| 8 | 55 | 18 | 5 | 2018 | 223,17 | 25782 | 429,70 | -0,2952 |
| 8 | 54 | 21 | 5 | 2018 | 223,14 | 30101 | 501,68 | -0,2971 |
| 9 | 33 | 25 | 5 | 2018 | 223,09 | 35900 | 598,33 | -0,3002 |
| 9 | 8 | 1 | 6 | 2018 | 223,09 | 44515 | 741,92 | -0,3002 |
| 9 | 36 | 8 | 6 | 2018 | 223,09 | 54623 | 910,38 | -0,3002 |
| 10 | 28 | 15 | 6 | 2018 | 223,09 | 64755 | 1079,25 | -0,3002 |

Dados do provete ISC 3.3

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 227,92 |
| Secção (cm ²) | 16,09 |
| Altura (cm) | 5,84 |
| Saturação crítica (%) | 37 |

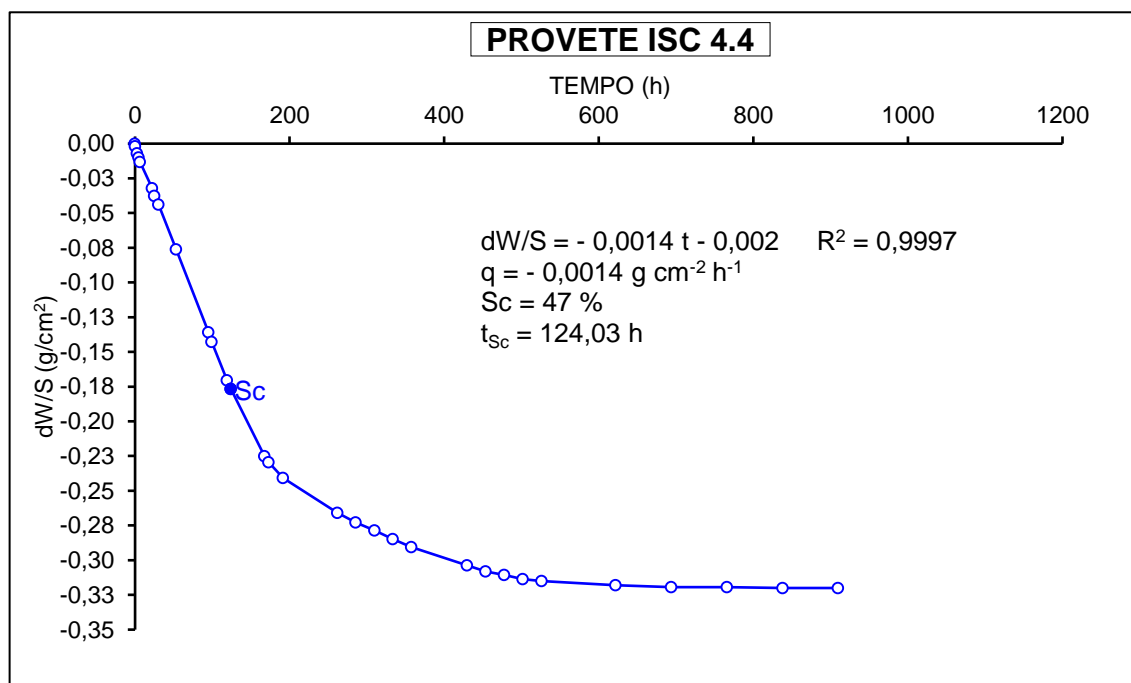


Anexo 50 - Ensaio de evaporação – Provete ISC 4.4

| PROVETE ISC 4.4 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|--------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 48 | 3 | 5 | 2018 | 222,48 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 9 | 3 | 5 | 2018 | 222,45 | 21 | 0,35 | -0,0019 |
| 13 | 28 | 3 | 5 | 2018 | 222,37 | 160 | 2,67 | -0,0069 |
| 15 | 47 | 3 | 5 | 2018 | 222,32 | 299 | 4,98 | -0,0101 |
| 17 | 12 | 3 | 5 | 2018 | 222,27 | 384 | 6,40 | -0,0132 |
| 8 | 53 | 4 | 5 | 2018 | 221,97 | 1325 | 22,08 | -0,0321 |
| 12 | 4 | 4 | 5 | 2018 | 221,88 | 1516 | 25,27 | -0,0377 |
| 17 | 5 | 4 | 5 | 2018 | 221,78 | 1817 | 30,28 | -0,0440 |
| 15 | 53 | 5 | 5 | 2018 | 221,27 | 3185 | 53,08 | -0,0761 |
| 9 | 54 | 7 | 5 | 2018 | 220,32 | 5706 | 95,10 | -0,1358 |
| 13 | 51 | 7 | 5 | 2018 | 220,21 | 5943 | 99,05 | -0,1427 |
| 9 | 57 | 8 | 5 | 2018 | 219,77 | 7149 | 119,15 | -0,1704 |
| 14 | 50 | 8 | 5 | 2018 | 219,67 | 7442 | 124,03 | -0,1767 |
| 10 | 31 | 10 | 5 | 2018 | 218,90 | 10063 | 167,72 | -0,2251 |
| 15 | 48 | 10 | 5 | 2018 | 218,83 | 10380 | 173,00 | -0,2295 |
| 10 | 28 | 11 | 5 | 2018 | 218,65 | 11500 | 191,67 | -0,2408 |
| 8 | 37 | 14 | 5 | 2018 | 218,25 | 15709 | 261,82 | -0,2660 |
| 8 | 35 | 15 | 5 | 2018 | 218,14 | 17147 | 285,78 | -0,2729 |
| 8 | 38 | 16 | 5 | 2018 | 218,05 | 18590 | 309,83 | -0,2785 |
| 8 | 31 | 17 | 5 | 2018 | 217,95 | 20023 | 333,72 | -0,2848 |
| 8 | 33 | 18 | 5 | 2018 | 217,86 | 21465 | 357,75 | -0,2905 |
| 8 | 32 | 21 | 5 | 2018 | 217,65 | 25784 | 429,73 | -0,3037 |
| 8 | 34 | 22 | 5 | 2018 | 217,58 | 27226 | 453,77 | -0,3081 |
| 8 | 31 | 23 | 5 | 2018 | 217,54 | 28663 | 477,72 | -0,3106 |
| 8 | 47 | 24 | 5 | 2018 | 217,49 | 30119 | 501,98 | -0,3138 |
| 9 | 11 | 25 | 5 | 2018 | 217,47 | 31583 | 526,38 | -0,3150 |
| 8 | 38 | 29 | 5 | 2018 | 217,42 | 37310 | 621,83 | -0,3182 |
| 8 | 37 | 1 | 6 | 2018 | 217,40 | 41629 | 693,82 | -0,3194 |
| 8 | 41 | 4 | 6 | 2018 | 217,40 | 45953 | 765,88 | -0,3194 |
| 8 | 55 | 8 | 6 | 2018 | 217,39 | 50287 | 838,12 | -0,3200 |
| 8 | 32 | 11 | 6 | 2018 | 217,39 | 54584 | 909,73 | -0,3200 |

Dados do provete ISC 4.4

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 222,48 |
| Secção (cm ²) | 15,90 |
| Altura (cm) | 6,00 |
| Saturação crítica (%) | 47 |

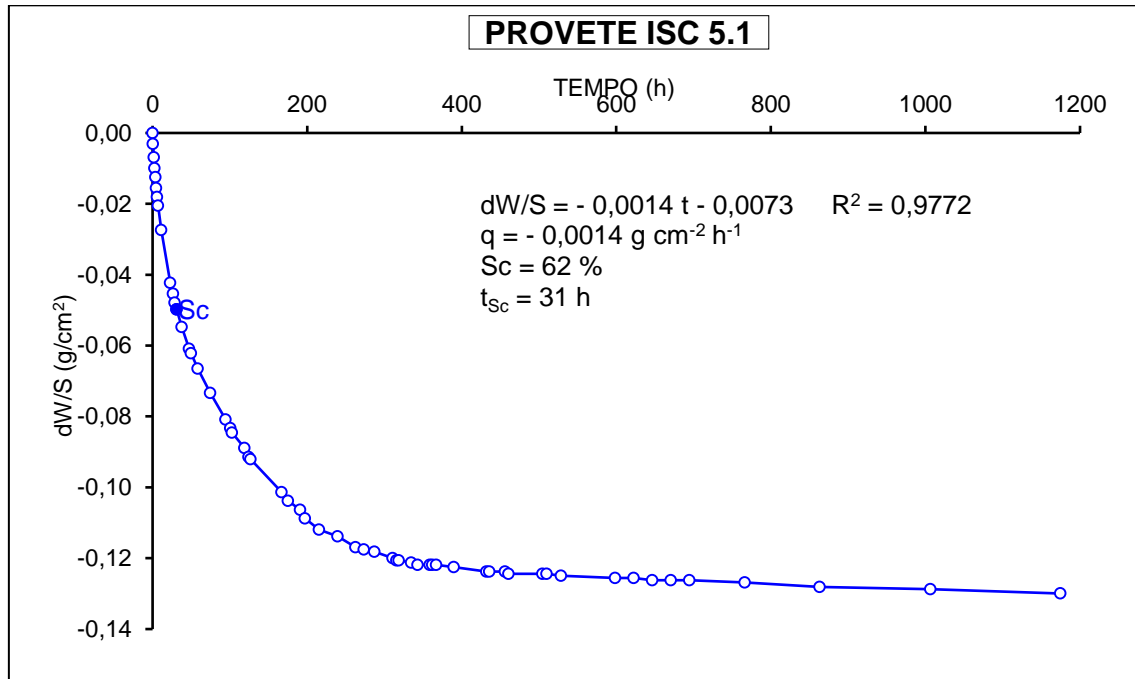


Anexo 51 - Ensaio de evaporação – Provete ISC 5.1

| PROVETE ISC 5.1 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 9 | 50 | 19 | 4 | 2018 | 245,11 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 12 | 19 | 4 | 2018 | 245,06 | 22 | 0,37 | -0,0031 |
| 11 | 26 | 19 | 4 | 2018 | 245,00 | 96 | 1,60 | -0,0068 |
| 12 | 24 | 19 | 4 | 2018 | 244,95 | 154 | 2,57 | -0,0099 |
| 13 | 30 | 19 | 4 | 2018 | 244,91 | 220 | 3,67 | -0,0124 |
| 14 | 29 | 19 | 4 | 2018 | 244,86 | 279 | 4,65 | -0,0155 |
| 15 | 33 | 19 | 4 | 2018 | 244,82 | 343 | 5,72 | -0,0180 |
| 16 | 59 | 19 | 4 | 2018 | 244,78 | 429 | 7,15 | -0,0205 |
| 21 | 0 | 19 | 4 | 2018 | 244,67 | 670 | 11,17 | -0,0274 |
| 8 | 54 | 20 | 4 | 2018 | 244,43 | 1384 | 23,07 | -0,0423 |
| 12 | 16 | 20 | 4 | 2018 | 244,38 | 1586 | 26,43 | -0,0454 |
| 14 | 34 | 20 | 4 | 2018 | 244,34 | 1724 | 28,73 | -0,0479 |
| 16 | 55 | 20 | 4 | 2018 | 244,31 | 1865 | 31,08 | -0,0497 |
| 23 | 34 | 20 | 4 | 2018 | 244,23 | 2264 | 37,73 | -0,0547 |
| 9 | 19 | 21 | 4 | 2018 | 244,13 | 2849 | 47,48 | -0,0609 |
| 11 | 31 | 21 | 4 | 2018 | 244,11 | 2981 | 49,68 | -0,0622 |
| 20 | 26 | 21 | 4 | 2018 | 244,04 | 3516 | 58,60 | -0,0665 |
| 12 | 28 | 22 | 4 | 2018 | 243,93 | 4478 | 74,63 | -0,0734 |
| 8 | 25 | 23 | 4 | 2018 | 243,81 | 5675 | 94,58 | -0,0808 |
| 14 | 31 | 23 | 4 | 2018 | 243,77 | 6041 | 100,68 | -0,0833 |
| 16 | 29 | 23 | 4 | 2018 | 243,75 | 6159 | 102,65 | -0,0846 |
| 8 | 42 | 24 | 4 | 2018 | 243,68 | 7132 | 118,87 | -0,0889 |
| 14 | 0 | 24 | 4 | 2018 | 243,64 | 7450 | 124,17 | -0,0914 |
| 16 | 47 | 24 | 4 | 2018 | 243,63 | 7617 | 126,95 | -0,0920 |
| 8 | 46 | 26 | 4 | 2018 | 243,48 | 10016 | 166,93 | -0,1014 |
| 17 | 2 | 26 | 4 | 2018 | 243,44 | 10512 | 175,20 | -0,1038 |
| 8 | 43 | 27 | 4 | 2018 | 243,40 | 11453 | 190,88 | -0,1063 |
| 14 | 53 | 27 | 4 | 2018 | 243,36 | 11823 | 197,05 | -0,1088 |
| 9 | 14 | 28 | 4 | 2018 | 243,31 | 12924 | 215,40 | -0,1119 |
| 9 | 12 | 29 | 4 | 2018 | 243,28 | 14362 | 239,37 | -0,1138 |
| 8 | 35 | 30 | 4 | 2018 | 243,23 | 15765 | 262,75 | -0,1169 |
| 19 | 10 | 30 | 4 | 2018 | 243,22 | 16400 | 273,33 | -0,1175 |
| 9 | 9 | 1 | 5 | 2018 | 243,21 | 17239 | 287,32 | -0,1181 |
| 8 | 37 | 2 | 5 | 2018 | 243,18 | 18647 | 310,78 | -0,1200 |
| 13 | 34 | 2 | 5 | 2018 | 243,17 | 18944 | 315,73 | -0,1206 |
| 16 | 34 | 2 | 5 | 2018 | 243,17 | 19124 | 318,73 | -0,1206 |
| 8 | 38 | 3 | 5 | 2018 | 243,16 | 20088 | 334,80 | -0,1213 |
| 17 | 4 | 3 | 5 | 2018 | 243,15 | 20594 | 343,23 | -0,1219 |
| 8 | 42 | 4 | 5 | 2018 | 243,15 | 21532 | 358,87 | -0,1219 |
| 11 | 52 | 4 | 5 | 2018 | 243,15 | 21722 | 362,03 | -0,1219 |
| 16 | 54 | 4 | 5 | 2018 | 243,15 | 22024 | 367,07 | -0,1219 |
| 15 | 46 | 5 | 5 | 2018 | 243,14 | 23396 | 389,93 | -0,1225 |
| 9 | 43 | 7 | 5 | 2018 | 243,12 | 25913 | 431,88 | -0,1237 |
| 13 | 41 | 7 | 5 | 2018 | 243,12 | 26151 | 435,85 | -0,1237 |
| 9 | 46 | 8 | 5 | 2018 | 243,12 | 27356 | 455,93 | -0,1237 |
| 14 | 38 | 8 | 5 | 2018 | 243,11 | 27648 | 460,80 | -0,1244 |
| 10 | 19 | 10 | 5 | 2018 | 243,11 | 30269 | 504,48 | -0,1244 |
| 15 | 37 | 10 | 5 | 2018 | 243,11 | 30587 | 509,78 | -0,1244 |
| 10 | 15 | 11 | 5 | 2018 | 243,10 | 31705 | 528,42 | -0,1250 |
| 8 | 25 | 14 | 5 | 2018 | 243,09 | 35915 | 598,58 | -0,1256 |
| 8 | 23 | 15 | 5 | 2018 | 243,09 | 37353 | 622,55 | -0,1256 |
| 8 | 28 | 16 | 5 | 2018 | 243,08 | 38798 | 646,63 | -0,1262 |
| 8 | 21 | 17 | 5 | 2018 | 243,08 | 40231 | 670,52 | -0,1262 |
| 8 | 22 | 18 | 5 | 2018 | 243,08 | 41672 | 694,53 | -0,1262 |
| 8 | 22 | 21 | 5 | 2018 | 243,07 | 45992 | 766,53 | -0,1269 |
| 9 | 0 | 25 | 5 | 2018 | 243,05 | 51790 | 863,17 | -0,1281 |
| 8 | 26 | 1 | 6 | 2018 | 243,04 | 60396 | 1006,60 | -0,1287 |
| 8 | 35 | 8 | 6 | 2018 | 243,02 | 70485 | 1174,75 | -0,1300 |

Dados do provete ISC 5.1

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 245,11 |
| Secção (cm ²) | 16,08 |
| Altura (cm) | 5,86 |
| Saturação crítica (%) | 62 |

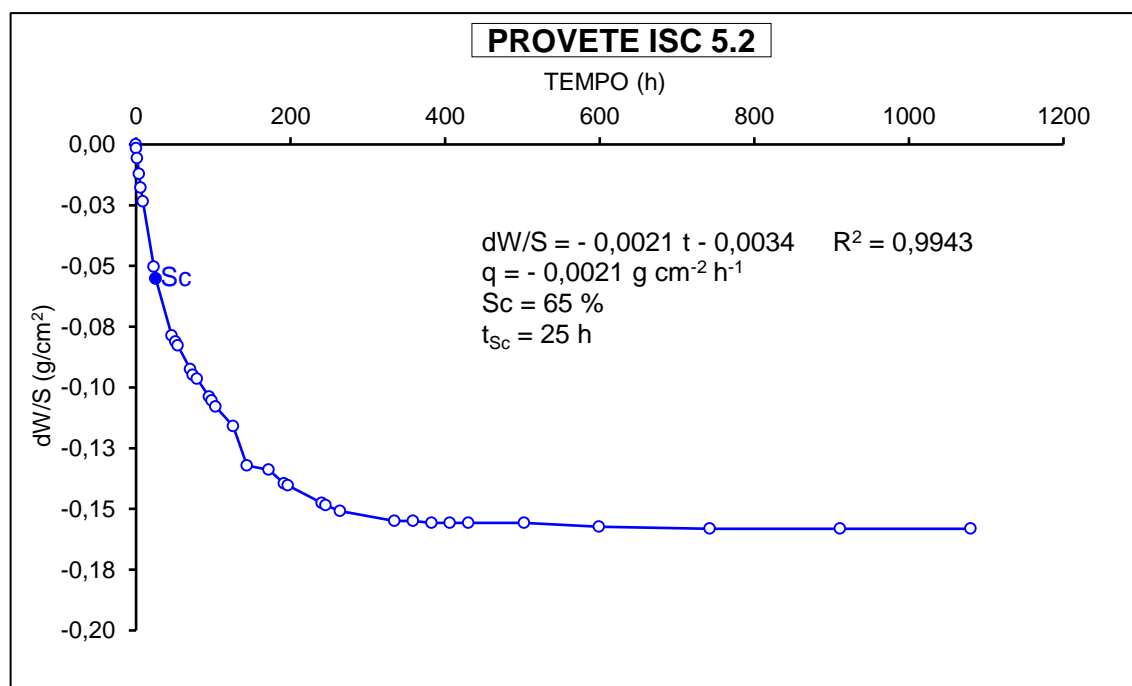


Anexo 52 - Ensaio de evaporação – Provete ISC 5.2

| PROVETE ISC 5.2 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 25 | 30 | 4 | 2018 | 248,22 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 46 | 30 | 4 | 2018 | 248,2 | 21 | 0,35 | -0,0016 |
| 11 | 57 | 30 | 4 | 2018 | 248,15 | 92 | 1,53 | -0,0057 |
| 14 | 10 | 30 | 4 | 2018 | 248,07 | 225 | 3,75 | -0,0122 |
| 16 | 32 | 30 | 4 | 2018 | 248 | 367 | 6,12 | -0,0178 |
| 19 | 14 | 30 | 4 | 2018 | 247,93 | 529 | 8,82 | -0,0235 |
| 9 | 15 | 1 | 5 | 2018 | 247,6 | 1370 | 22,83 | -0,0503 |
| 11 | 44 | 1 | 5 | 2018 | 247,54 | 1519 | 25,32 | -0,0552 |
| 8 | 44 | 2 | 5 | 2018 | 247,25 | 2779 | 46,32 | -0,0787 |
| 13 | 41 | 2 | 5 | 2018 | 247,22 | 3076 | 51,27 | -0,0811 |
| 16 | 40 | 2 | 5 | 2018 | 247,2 | 3255 | 54,25 | -0,0827 |
| 8 | 45 | 3 | 5 | 2018 | 247,08 | 4220 | 70,33 | -0,0925 |
| 12 | 9 | 3 | 5 | 2018 | 247,05 | 4424 | 73,73 | -0,0949 |
| 17 | 20 | 3 | 5 | 2018 | 247,03 | 4735 | 78,92 | -0,0965 |
| 9 | 4 | 4 | 5 | 2018 | 246,94 | 5679 | 94,65 | -0,1038 |
| 12 | 16 | 4 | 5 | 2018 | 246,92 | 5871 | 97,85 | -0,1054 |
| 17 | 15 | 4 | 5 | 2018 | 246,89 | 6170 | 102,83 | -0,1079 |
| 16 | 1 | 5 | 5 | 2018 | 246,79 | 7536 | 125,60 | -0,1160 |
| 10 | 8 | 7 | 5 | 2018 | 246,59 | 8623 | 143,72 | -0,1322 |
| 14 | 3 | 7 | 5 | 2018 | 246,57 | 10298 | 171,63 | -0,1338 |
| 10 | 10 | 8 | 5 | 2018 | 246,5 | 11505 | 191,75 | -0,1395 |
| 15 | 2 | 8 | 5 | 2018 | 246,49 | 11797 | 196,62 | -0,1403 |
| 10 | 46 | 10 | 5 | 2018 | 246,4 | 14421 | 240,35 | -0,1476 |
| 15 | 57 | 10 | 5 | 2018 | 246,39 | 14732 | 245,53 | -0,1484 |
| 10 | 39 | 11 | 5 | 2018 | 246,36 | 15854 | 264,23 | -0,1509 |
| 8 | 49 | 14 | 5 | 2018 | 246,31 | 20064 | 334,40 | -0,1549 |
| 8 | 48 | 15 | 5 | 2018 | 246,31 | 21503 | 358,38 | -0,1549 |
| 8 | 49 | 16 | 5 | 2018 | 246,3 | 22944 | 382,40 | -0,1557 |
| 8 | 42 | 17 | 5 | 2018 | 246,3 | 24377 | 406,28 | -0,1557 |
| 8 | 44 | 18 | 5 | 2018 | 246,3 | 25819 | 430,32 | -0,1557 |
| 8 | 43 | 21 | 5 | 2018 | 246,3 | 30138 | 502,30 | -0,1557 |
| 9 | 22 | 25 | 5 | 2018 | 246,28 | 35937 | 598,95 | -0,1574 |
| 8 | 58 | 1 | 6 | 2018 | 246,27 | 44553 | 742,55 | -0,1582 |
| 9 | 15 | 8 | 6 | 2018 | 246,27 | 54650 | 910,83 | -0,1582 |
| 10 | 18 | 15 | 6 | 2018 | 246,27 | 64793 | 1079,88 | -0,1582 |

Dados do provete ISC 5.2

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso (g) | 248,22 |
| Secção (cm²) | 12,33 |
| Altura (cm) | 5,71 |
| Saturação crítica (%) | 65 |

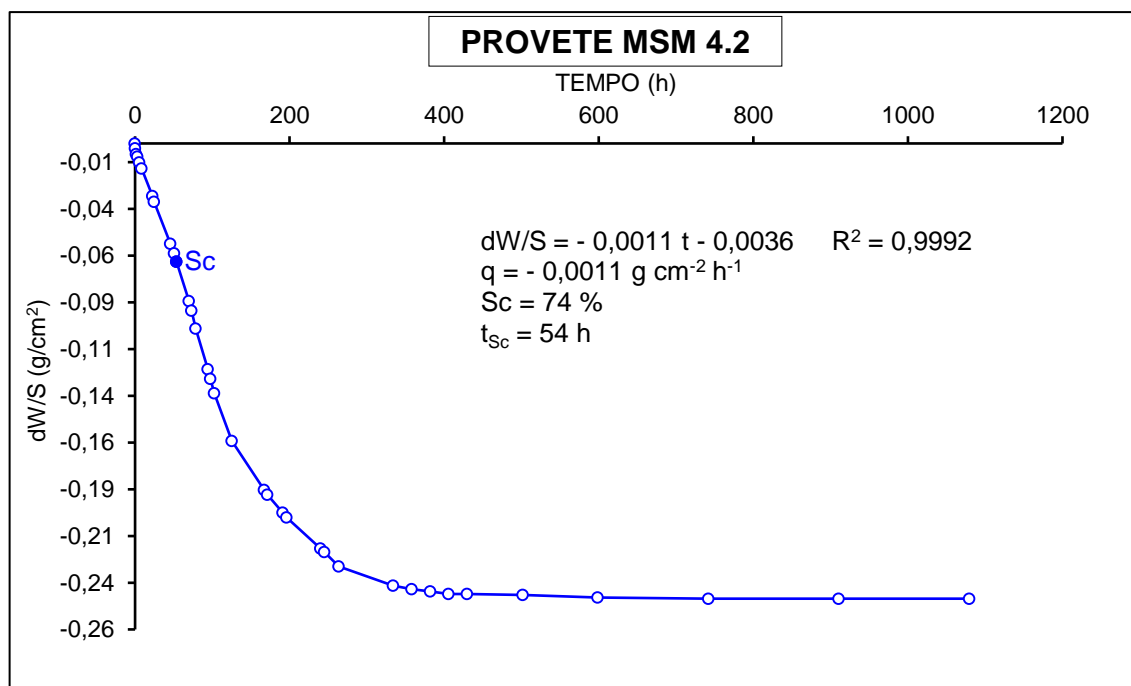


Anexo 53 - Ensaio de evaporação – Provete MSM 4.2

| PROVETE MSM 4.2 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 58 | 30 | 4 | 2018 | 238,24 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 17 | 30 | 4 | 2018 | 238,20 | 19 | 0,32 | -0,0026 |
| 12 | 35 | 30 | 4 | 2018 | 238,15 | 97 | 1,62 | -0,0058 |
| 14 | 15 | 30 | 4 | 2018 | 238,13 | 197 | 3,28 | -0,0070 |
| 16 | 35 | 30 | 4 | 2018 | 238,08 | 337 | 5,62 | -0,0102 |
| 19 | 18 | 30 | 4 | 2018 | 238,03 | 500 | 8,33 | -0,0134 |
| 9 | 24 | 1 | 5 | 2018 | 237,80 | 1346 | 22,43 | -0,0281 |
| 11 | 48 | 1 | 5 | 2018 | 237,75 | 1490 | 24,83 | -0,0313 |
| 8 | 53 | 2 | 5 | 2018 | 237,40 | 2755 | 45,92 | -0,0537 |
| 13 | 48 | 2 | 5 | 2018 | 237,32 | 3050 | 50,83 | -0,0588 |
| 16 | 47 | 2 | 5 | 2018 | 237,25 | 3229 | 53,82 | -0,0633 |
| 8 | 52 | 3 | 5 | 2018 | 236,92 | 4194 | 69,90 | -0,0844 |
| 12 | 16 | 3 | 5 | 2018 | 236,84 | 4398 | 73,30 | -0,0895 |
| 17 | 25 | 3 | 5 | 2018 | 236,69 | 4707 | 78,45 | -0,0991 |
| 9 | 12 | 4 | 5 | 2018 | 236,35 | 5654 | 94,23 | -0,1208 |
| 12 | 21 | 4 | 5 | 2018 | 236,27 | 5843 | 97,38 | -0,1259 |
| 17 | 21 | 4 | 5 | 2018 | 236,15 | 6143 | 102,38 | -0,1336 |
| 16 | 4 | 5 | 5 | 2018 | 235,75 | 7506 | 125,10 | -0,1592 |
| 10 | 15 | 7 | 5 | 2018 | 235,34 | 10037 | 167,28 | -0,1854 |
| 14 | 10 | 7 | 5 | 2018 | 235,30 | 10272 | 171,20 | -0,1879 |
| 10 | 17 | 8 | 5 | 2018 | 235,15 | 11479 | 191,32 | -0,1975 |
| 15 | 9 | 8 | 5 | 2018 | 235,11 | 11771 | 196,18 | -0,2001 |
| 10 | 55 | 10 | 5 | 2018 | 234,85 | 14397 | 239,95 | -0,2167 |
| 16 | 4 | 10 | 5 | 2018 | 234,82 | 14706 | 245,10 | -0,2186 |
| 10 | 46 | 11 | 5 | 2018 | 234,70 | 15828 | 263,80 | -0,2263 |
| 8 | 56 | 14 | 5 | 2018 | 234,54 | 20038 | 333,97 | -0,2365 |
| 8 | 59 | 15 | 5 | 2018 | 234,51 | 21481 | 358,02 | -0,2384 |
| 8 | 56 | 16 | 5 | 2018 | 234,49 | 22918 | 381,97 | -0,2397 |
| 8 | 49 | 17 | 5 | 2018 | 234,47 | 24351 | 405,85 | -0,2410 |
| 8 | 52 | 18 | 5 | 2018 | 234,47 | 25794 | 429,90 | -0,2410 |
| 8 | 51 | 21 | 5 | 2018 | 234,46 | 30113 | 501,88 | -0,2416 |
| 9 | 29 | 25 | 5 | 2018 | 234,44 | 35911 | 598,52 | -0,2429 |
| 9 | 5 | 1 | 6 | 2018 | 234,43 | 44527 | 742,12 | -0,2435 |
| 9 | 29 | 8 | 6 | 2018 | 234,43 | 54631 | 910,52 | -0,2435 |
| 10 | 25 | 15 | 6 | 2018 | 234,43 | 64767 | 1079,45 | -0,2435 |

Dados do provete MSM 4.2

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 238,24 |
| Secção (cm ²) | 15,64 |
| Altura (cm) | 5,93 |
| Saturação crítica (%) | 74 |

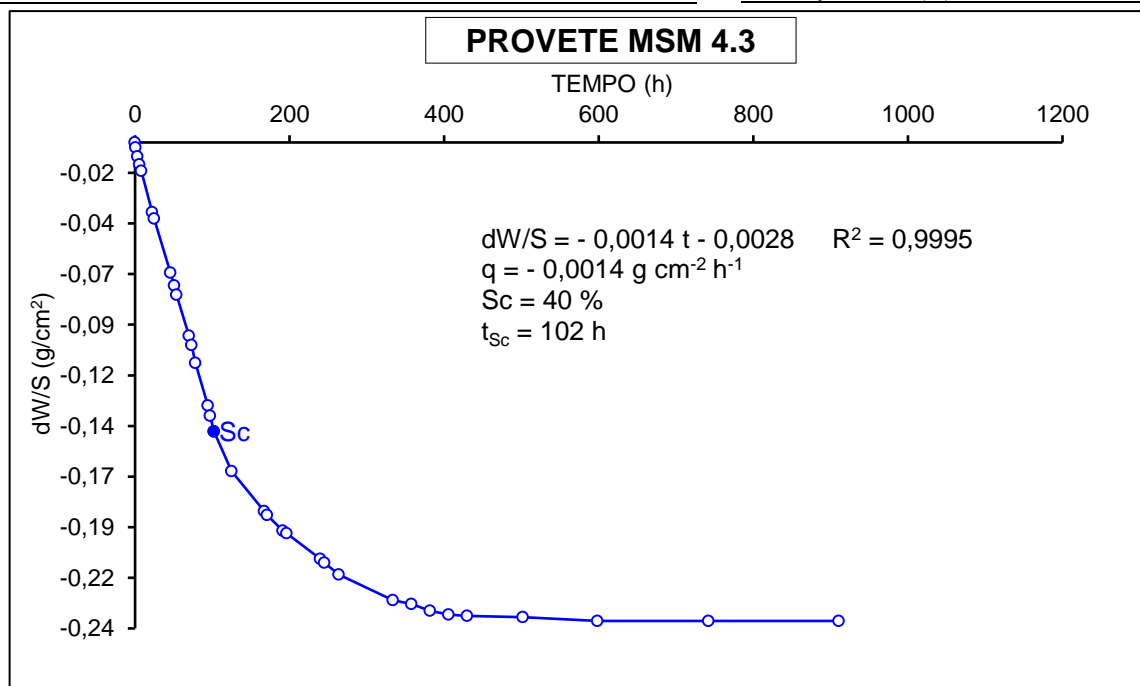


Anexo 54 - Ensaio de evaporação – Provete MSM 4.3

| PROVETE MSM 4.3 | | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|--|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S | |
| 11 | 10 | 30 | 4 | 2018 | 234,09 | 0 | 0,00 | 0,0000 | |
| 11 | 55 | 30 | 4 | 2018 | 234,05 | 45 | 0,75 | -0,0025 | |
| 14 | 17 | 30 | 4 | 2018 | 233,98 | 187 | 3,12 | -0,0070 | |
| 16 | 37 | 30 | 4 | 2018 | 233,92 | 327 | 5,45 | -0,0108 | |
| 19 | 19 | 30 | 4 | 2018 | 233,87 | 489 | 8,15 | -0,0140 | |
| 9 | 27 | 1 | 5 | 2018 | 233,55 | 1337 | 22,28 | -0,0344 | |
| 11 | 49 | 1 | 5 | 2018 | 233,50 | 1479 | 24,65 | -0,0376 | |
| 8 | 56 | 2 | 5 | 2018 | 233,08 | 2746 | 45,77 | -0,0643 | |
| 13 | 50 | 2 | 5 | 2018 | 232,98 | 3040 | 50,67 | -0,0707 | |
| 16 | 50 | 2 | 5 | 2018 | 232,91 | 3220 | 53,67 | -0,0752 | |
| 8 | 55 | 3 | 5 | 2018 | 232,59 | 4185 | 69,75 | -0,0955 | |
| 12 | 18 | 3 | 5 | 2018 | 232,52 | 4388 | 73,13 | -0,1000 | |
| 17 | 26 | 3 | 5 | 2018 | 232,38 | 4696 | 78,27 | -0,1089 | |
| 9 | 14 | 4 | 5 | 2018 | 232,05 | 5644 | 94,07 | -0,1299 | |
| 12 | 24 | 4 | 5 | 2018 | 231,97 | 5834 | 97,23 | -0,1350 | |
| 17 | 24 | 4 | 5 | 2018 | 231,85 | 6134 | 102,23 | -0,1427 | |
| 16 | 6 | 5 | 5 | 2018 | 231,54 | 7496 | 124,93 | -0,1624 | |
| 10 | 18 | 7 | 5 | 2018 | 231,23 | 10028 | 167,13 | -0,1822 | |
| 14 | 12 | 7 | 5 | 2018 | 231,20 | 10262 | 171,03 | -0,1841 | |
| 10 | 20 | 8 | 5 | 2018 | 231,08 | 11470 | 191,17 | -0,1917 | |
| 15 | 13 | 8 | 5 | 2018 | 231,06 | 11763 | 196,05 | -0,1930 | |
| 10 | 57 | 10 | 5 | 2018 | 230,86 | 14387 | 239,78 | -0,2057 | |
| 16 | 6 | 10 | 5 | 2018 | 230,83 | 14696 | 244,93 | -0,2076 | |
| 10 | 49 | 11 | 5 | 2018 | 230,74 | 15819 | 263,65 | -0,2134 | |
| 8 | 59 | 14 | 5 | 2018 | 230,54 | 20029 | 333,82 | -0,2261 | |
| 9 | 1 | 15 | 5 | 2018 | 230,51 | 21471 | 357,85 | -0,2280 | |
| 8 | 59 | 16 | 5 | 2018 | 230,46 | 22909 | 381,82 | -0,2312 | |
| 8 | 51 | 17 | 5 | 2018 | 230,43 | 24341 | 405,68 | -0,2331 | |
| 8 | 55 | 18 | 5 | 2018 | 230,42 | 25785 | 429,75 | -0,2338 | |
| 8 | 54 | 21 | 5 | 2018 | 230,41 | 30104 | 501,73 | -0,2344 | |
| 9 | 32 | 25 | 5 | 2018 | 230,38 | 35902 | 598,37 | -0,2363 | |
| 9 | 7 | 1 | 6 | 2018 | 230,38 | 44517 | 741,95 | -0,2363 | |
| 9 | 35 | 8 | 6 | 2018 | 230,38 | 54625 | 910,42 | -0,2363 | |
| 10 | 27 | 15 | 6 | 2018 | 230,38 | 64757 | 1079,28 | -0,2363 | |

Dados do provete MSM 4.3

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 234,09 |
| Secção (cm ²) | 15,70 |
| Altura (cm) | 5,83 |
| Saturação crítica (%) | 40 |

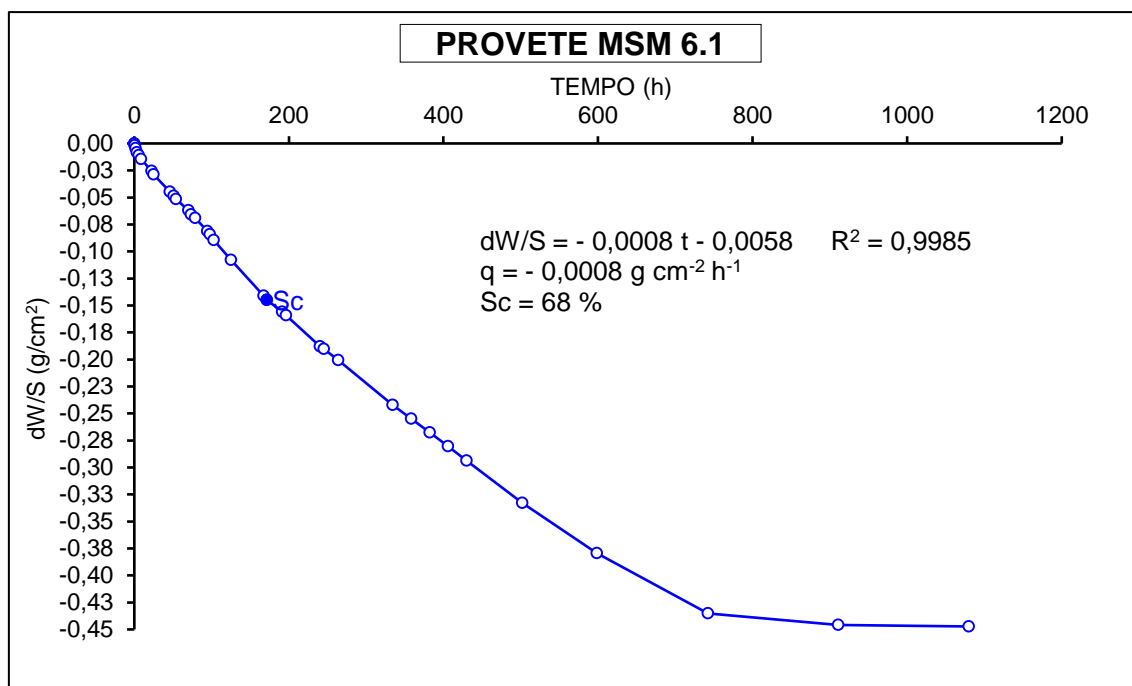


Anexo 55 - Ensaio de evaporação – Provete MSM 6.1

| PROVETE MSM 6.1 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 37 | 30 | 4 | 2018 | 232,55 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 2 | 30 | 4 | 2018 | 232,52 | 25 | 0,42 | -0,0019 |
| 12 | 31 | 30 | 4 | 2018 | 232,48 | 114 | 1,90 | -0,0045 |
| 14 | 12 | 30 | 4 | 2018 | 232,42 | 215 | 3,58 | -0,0083 |
| 16 | 33 | 30 | 4 | 2018 | 232,38 | 356 | 5,93 | -0,0109 |
| 19 | 16 | 30 | 4 | 2018 | 232,32 | 519 | 8,65 | -0,0147 |
| 9 | 19 | 1 | 5 | 2018 | 232,15 | 1362 | 22,70 | -0,0256 |
| 11 | 46 | 1 | 5 | 2018 | 232,10 | 1509 | 25,15 | -0,0288 |
| 8 | 47 | 2 | 5 | 2018 | 231,85 | 2770 | 46,17 | -0,0447 |
| 13 | 44 | 2 | 5 | 2018 | 231,79 | 3067 | 51,12 | -0,0486 |
| 16 | 43 | 2 | 5 | 2018 | 231,74 | 3246 | 54,10 | -0,0518 |
| 8 | 48 | 3 | 5 | 2018 | 231,58 | 4211 | 70,18 | -0,0620 |
| 12 | 11 | 3 | 5 | 2018 | 231,52 | 4414 | 73,57 | -0,0658 |
| 17 | 22 | 3 | 5 | 2018 | 231,47 | 4725 | 78,75 | -0,0690 |
| 9 | 7 | 4 | 5 | 2018 | 231,28 | 5670 | 94,50 | -0,0811 |
| 12 | 18 | 4 | 5 | 2018 | 231,23 | 5861 | 97,68 | -0,0843 |
| 17 | 18 | 4 | 5 | 2018 | 231,15 | 6161 | 102,68 | -0,0895 |
| 16 | 2 | 5 | 5 | 2018 | 230,86 | 7525 | 125,42 | -0,1080 |
| 10 | 11 | 7 | 5 | 2018 | 230,34 | 10054 | 167,57 | -0,1412 |
| 14 | 6 | 7 | 5 | 2018 | 230,28 | 10289 | 171,48 | -0,1450 |
| 10 | 12 | 8 | 5 | 2018 | 230,11 | 11495 | 191,58 | -0,1559 |
| 15 | 5 | 8 | 5 | 2018 | 230,06 | 11788 | 196,47 | -0,1591 |
| 10 | 49 | 10 | 5 | 2018 | 229,61 | 14412 | 240,20 | -0,1878 |
| 16 | 0 | 10 | 5 | 2018 | 229,57 | 14723 | 245,38 | -0,1904 |
| 10 | 42 | 11 | 5 | 2018 | 229,41 | 15845 | 264,08 | -0,2006 |
| 8 | 52 | 14 | 5 | 2018 | 228,76 | 20055 | 334,25 | -0,2422 |
| 8 | 51 | 15 | 5 | 2018 | 228,56 | 21494 | 358,23 | -0,2549 |
| 8 | 52 | 16 | 5 | 2018 | 228,36 | 22935 | 382,25 | -0,2677 |
| 8 | 45 | 17 | 5 | 2018 | 228,16 | 24368 | 406,13 | -0,2805 |
| 8 | 47 | 18 | 5 | 2018 | 227,95 | 25810 | 430,17 | -0,2939 |
| 8 | 45 | 21 | 5 | 2018 | 227,34 | 30128 | 502,13 | -0,3329 |
| 9 | 25 | 25 | 5 | 2018 | 226,61 | 35928 | 598,80 | -0,3795 |
| 9 | 1 | 1 | 6 | 2018 | 225,74 | 44544 | 742,40 | -0,4351 |
| 9 | 22 | 8 | 6 | 2018 | 225,57 | 54645 | 910,75 | -0,4460 |
| 10 | 21 | 15 | 6 | 2018 | 225,55 | 64784 | 1079,73 | -0,4473 |

Dados do provete MSM 6.1

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 232,55 |
| Secção (cm ²) | 15,65 |
| Altura (cm) | 6,03 |
| Saturação crítica (%) | 68 |

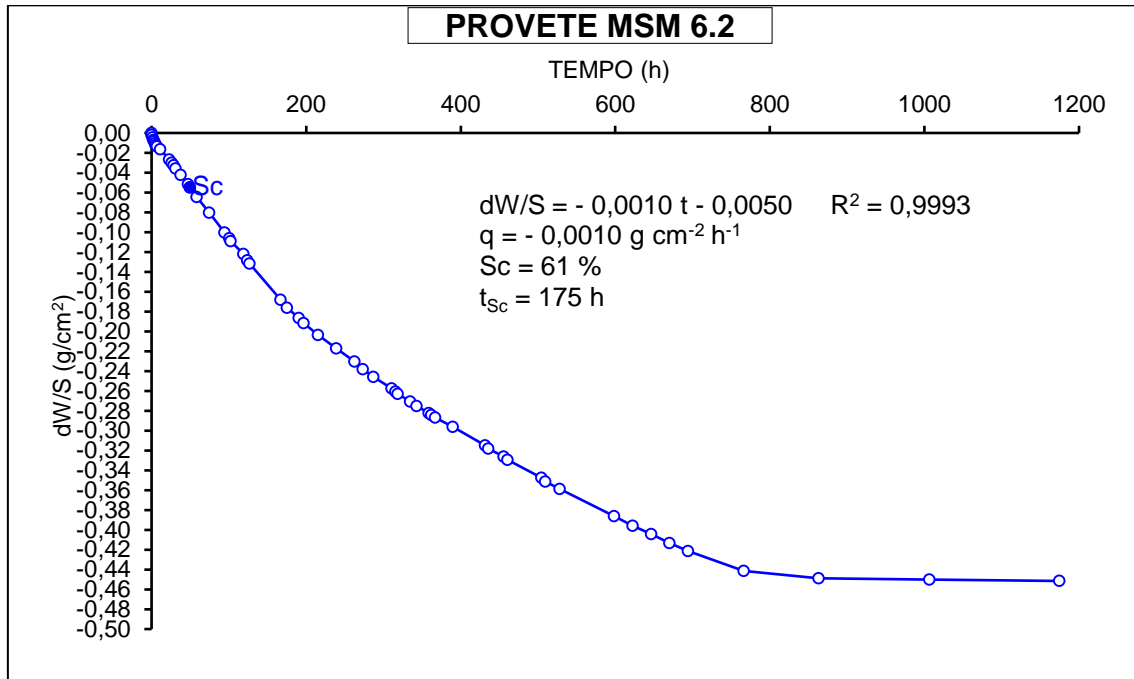


Anexo 56 - Ensaio de evaporação – Provete MSM 6.2

| PROVETE MSM 6.2 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 9 | 56 | 19 | 4 | 2018 | 228,13 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 13 | 19 | 4 | 2018 | 228,10 | 17 | 0,28 | -0,0019 |
| 11 | 26 | 19 | 4 | 2018 | 228,06 | 90 | 1,50 | -0,0045 |
| 12 | 25 | 19 | 4 | 2018 | 228,02 | 149 | 2,48 | -0,0070 |
| 13 | 31 | 19 | 4 | 2018 | 228,00 | 215 | 3,58 | -0,0083 |
| 14 | 30 | 19 | 4 | 2018 | 227,97 | 274 | 4,57 | -0,0102 |
| 15 | 34 | 19 | 4 | 2018 | 227,94 | 338 | 5,63 | -0,0121 |
| 17 | 1 | 19 | 4 | 2018 | 227,92 | 425 | 7,08 | -0,0134 |
| 21 | 2 | 19 | 4 | 2018 | 227,87 | 666 | 11,10 | -0,0166 |
| 8 | 55 | 20 | 4 | 2018 | 227,71 | 1379 | 22,98 | -0,0268 |
| 12 | 17 | 20 | 4 | 2018 | 227,66 | 1581 | 26,35 | -0,0300 |
| 14 | 35 | 20 | 4 | 2018 | 227,62 | 1719 | 28,65 | -0,0326 |
| 16 | 56 | 20 | 4 | 2018 | 227,57 | 1860 | 31,00 | -0,0358 |
| 23 | 36 | 20 | 4 | 2018 | 227,47 | 2260 | 37,67 | -0,0422 |
| 9 | 20 | 21 | 4 | 2018 | 227,32 | 2844 | 47,40 | -0,0517 |
| 11 | 32 | 21 | 4 | 2018 | 227,27 | 2976 | 49,60 | -0,0549 |
| 20 | 27 | 21 | 4 | 2018 | 227,12 | 3511 | 58,52 | -0,0645 |
| 12 | 29 | 22 | 4 | 2018 | 226,87 | 4473 | 74,55 | -0,0805 |
| 8 | 27 | 23 | 4 | 2018 | 226,56 | 5671 | 94,52 | -0,1003 |
| 14 | 32 | 23 | 4 | 2018 | 226,47 | 6036 | 100,60 | -0,1060 |
| 16 | 30 | 23 | 4 | 2018 | 226,42 | 6154 | 102,57 | -0,1092 |
| 8 | 43 | 24 | 4 | 2018 | 226,22 | 7127 | 118,78 | -0,1220 |
| 14 | 1 | 24 | 4 | 2018 | 226,12 | 7445 | 124,08 | -0,1284 |
| 16 | 48 | 24 | 4 | 2018 | 226,07 | 7612 | 126,87 | -0,1316 |
| 8 | 47 | 26 | 4 | 2018 | 225,50 | 10011 | 166,85 | -0,1680 |
| 17 | 3 | 26 | 4 | 2018 | 225,37 | 10507 | 175,12 | -0,1763 |
| 8 | 44 | 27 | 4 | 2018 | 225,21 | 11448 | 190,80 | -0,1865 |
| 14 | 54 | 27 | 4 | 2018 | 225,13 | 11818 | 196,97 | -0,1916 |
| 9 | 15 | 28 | 4 | 2018 | 224,94 | 12919 | 215,32 | -0,2037 |
| 9 | 13 | 29 | 4 | 2018 | 224,73 | 14357 | 239,28 | -0,2171 |
| 8 | 36 | 30 | 4 | 2018 | 224,52 | 15760 | 262,67 | -0,2306 |
| 19 | 11 | 30 | 4 | 2018 | 224,40 | 16395 | 273,25 | -0,2382 |
| 9 | 10 | 1 | 5 | 2018 | 224,28 | 17234 | 287,23 | -0,2459 |
| 8 | 38 | 2 | 5 | 2018 | 224,10 | 18642 | 310,70 | -0,2574 |
| 13 | 36 | 2 | 5 | 2018 | 224,05 | 18940 | 315,67 | -0,2606 |
| 16 | 35 | 2 | 5 | 2018 | 224,01 | 19119 | 318,65 | -0,2631 |
| 8 | 39 | 3 | 5 | 2018 | 223,89 | 20083 | 334,72 | -0,2708 |
| 17 | 4 | 3 | 5 | 2018 | 223,82 | 20588 | 343,13 | -0,2753 |
| 8 | 43 | 4 | 5 | 2018 | 223,71 | 21527 | 358,78 | -0,2823 |
| 11 | 54 | 4 | 5 | 2018 | 223,68 | 21718 | 361,97 | -0,2842 |
| 16 | 55 | 4 | 5 | 2018 | 223,64 | 22019 | 366,98 | -0,2868 |
| 15 | 46 | 5 | 5 | 2018 | 223,49 | 23390 | 389,83 | -0,2963 |
| 9 | 44 | 7 | 5 | 2018 | 223,20 | 25908 | 431,80 | -0,3149 |
| 13 | 42 | 7 | 5 | 2018 | 223,15 | 26146 | 435,77 | -0,3181 |
| 9 | 47 | 8 | 5 | 2018 | 223,02 | 27351 | 455,85 | -0,3264 |
| 14 | 39 | 8 | 5 | 2018 | 222,97 | 27643 | 460,72 | -0,3295 |
| 10 | 20 | 10 | 5 | 2018 | 222,69 | 30264 | 504,40 | -0,3474 |
| 15 | 38 | 10 | 5 | 2018 | 222,63 | 30582 | 509,70 | -0,3513 |
| 10 | 16 | 11 | 5 | 2018 | 222,51 | 31700 | 528,33 | -0,3589 |
| 8 | 26 | 14 | 5 | 2018 | 222,08 | 35910 | 598,50 | -0,3864 |
| 8 | 24 | 15 | 5 | 2018 | 221,93 | 37348 | 622,47 | -0,3960 |
| 8 | 29 | 16 | 5 | 2018 | 221,80 | 38793 | 646,55 | -0,4043 |
| 8 | 22 | 17 | 5 | 2018 | 221,66 | 40226 | 670,43 | -0,4132 |
| 8 | 22 | 18 | 5 | 2018 | 221,53 | 41666 | 694,43 | -0,4215 |
| 8 | 23 | 21 | 5 | 2018 | 221,22 | 45987 | 766,45 | -0,4413 |
| 9 | 1 | 25 | 5 | 2018 | 221,10 | 51785 | 863,08 | -0,4490 |
| 8 | 26 | 1 | 6 | 2018 | 221,08 | 60390 | 1006,50 | -0,4503 |
| 8 | 36 | 8 | 6 | 2018 | 221,06 | 70480 | 1174,67 | -0,4515 |

Dados do provete MSM 6.2

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 228,13 |
| Secção (cm ²) | 15,66 |
| Altura (cm) | 5,95 |
| Saturação crítica (%) | 61 |

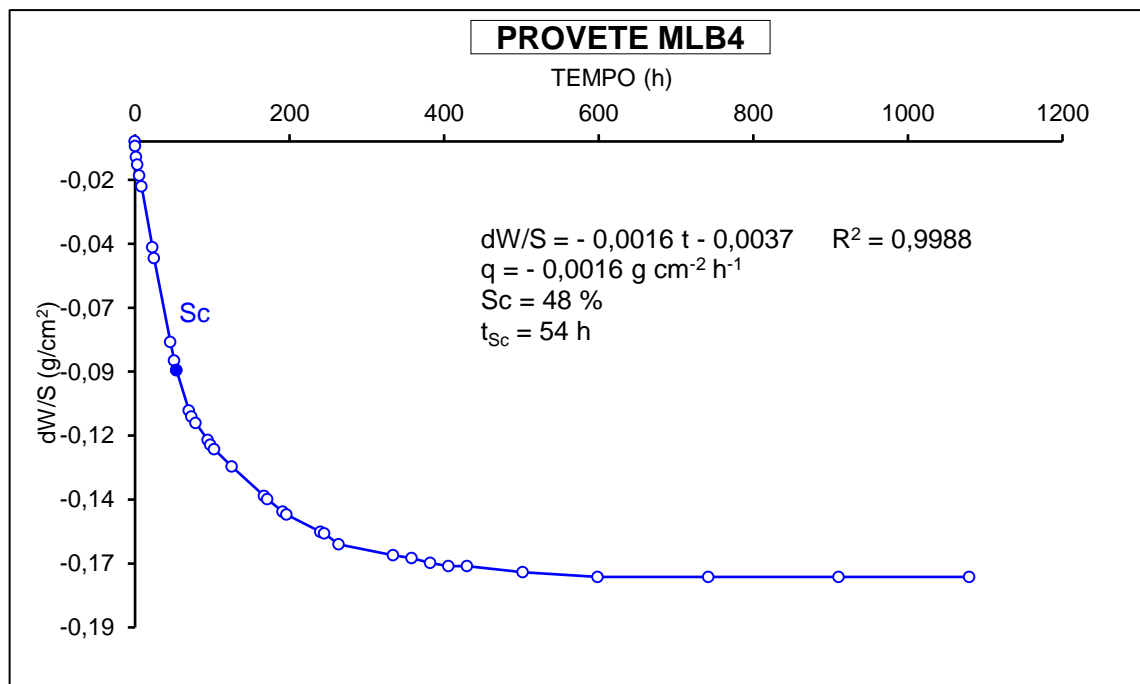


Anexo 57 - Ensaio de evaporação – Provete MLB4

| PROVETE MLB4 | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas |
| 10 | 57 | 30 | 4 | 2018 | 252,55 | 0 | 0,00 |
| 11 | 17 | 30 | 4 | 2018 | 252,52 | 20 | 0,33 |
| 12 | 34 | 30 | 4 | 2018 | 252,45 | 97 | 1,62 |
| 14 | 15 | 30 | 4 | 2018 | 252,40 | 198 | 3,30 |
| 16 | 35 | 30 | 4 | 2018 | 252,33 | 338 | 5,63 |
| 19 | 18 | 30 | 4 | 2018 | 252,26 | 501 | 8,35 |
| 9 | 24 | 1 | 5 | 2018 | 251,87 | 1347 | 22,45 |
| 11 | 48 | 1 | 5 | 2018 | 251,80 | 1491 | 24,85 |
| 8 | 52 | 2 | 5 | 2018 | 251,26 | 2755 | 45,92 |
| 13 | 47 | 2 | 5 | 2018 | 251,14 | 3050 | 50,83 |
| 16 | 46 | 2 | 5 | 2018 | 251,08 | 3229 | 53,82 |
| 8 | 52 | 3 | 5 | 2018 | 250,82 | 4195 | 69,92 |
| 12 | 15 | 3 | 5 | 2018 | 250,78 | 4398 | 73,30 |
| 17 | 24 | 3 | 5 | 2018 | 250,74 | 4707 | 78,45 |
| 9 | 11 | 4 | 5 | 2018 | 250,63 | 5654 | 94,23 |
| 12 | 21 | 4 | 5 | 2018 | 250,60 | 5844 | 97,40 |
| 17 | 21 | 4 | 5 | 2018 | 250,57 | 6144 | 102,40 |
| 16 | 4 | 5 | 5 | 2018 | 250,46 | 7507 | 125,12 |
| 10 | 15 | 7 | 5 | 2018 | 250,27 | 10038 | 167,30 |
| 14 | 9 | 7 | 5 | 2018 | 250,25 | 10272 | 171,20 |
| 10 | 16 | 8 | 5 | 2018 | 250,17 | 11479 | 191,32 |
| 15 | 9 | 8 | 5 | 2018 | 250,15 | 11772 | 196,20 |
| 10 | 54 | 10 | 5 | 2018 | 250,04 | 14397 | 239,95 |
| 16 | 3 | 10 | 5 | 2018 | 250,03 | 14706 | 245,10 |
| 10 | 46 | 11 | 5 | 2018 | 249,96 | 15829 | 263,82 |
| 8 | 56 | 14 | 5 | 2018 | 249,89 | 20039 | 333,98 |
| 8 | 58 | 15 | 5 | 2018 | 249,87 | 21481 | 358,02 |
| 8 | 56 | 16 | 5 | 2018 | 249,84 | 22919 | 381,98 |
| 8 | 49 | 17 | 5 | 2018 | 249,82 | 24352 | 405,87 |
| 8 | 52 | 18 | 5 | 2018 | 249,82 | 25795 | 429,92 |
| 8 | 51 | 21 | 5 | 2018 | 249,78 | 30114 | 501,90 |
| 9 | 29 | 25 | 5 | 2018 | 249,75 | 35912 | 598,53 |
| 9 | 5 | 1 | 6 | 2018 | 249,75 | 44528 | 742,13 |
| 9 | 28 | 8 | 6 | 2018 | 249,75 | 54631 | 910,52 |
| 10 | 25 | 15 | 6 | 2018 | 249,75 | 64768 | 1079,47 |

Dados do provete MLB4

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 252,55 |
| Secção (cm ²) | 16,45 |
| Altura (cm) | 5,95 |
| Saturação crítica (%) | 48 |

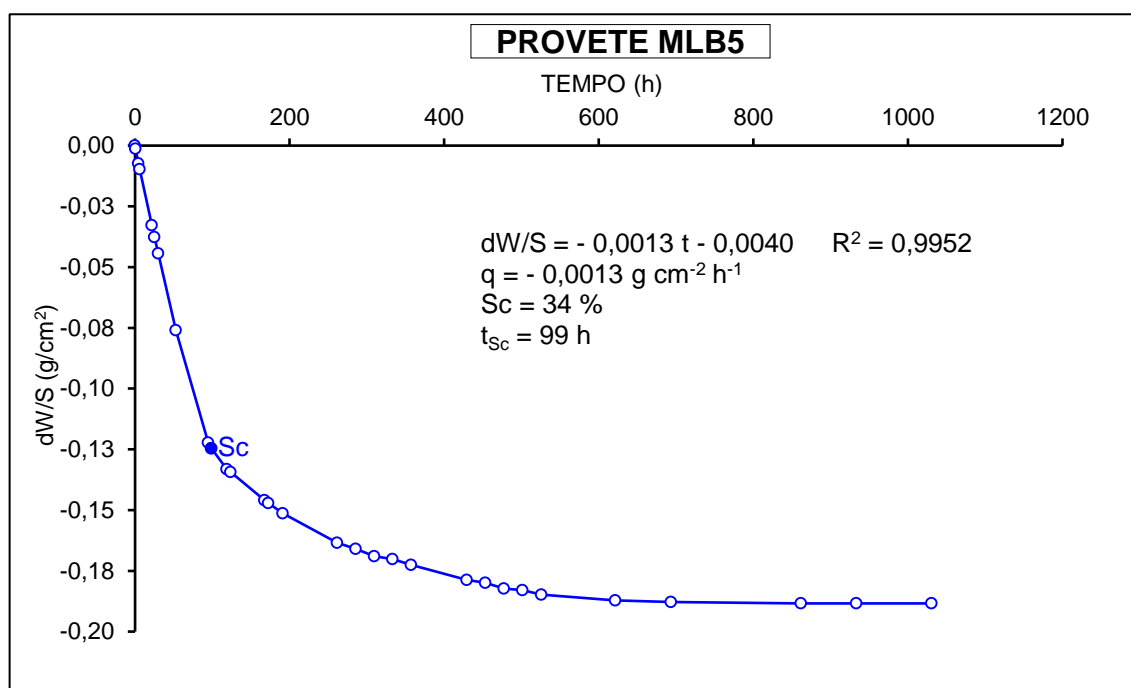


Anexo 58 - Ensaio de evaporação – Provete MLB5

| PROVETE MLB5 | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas |
| 11 | 20,00 | 3 | 5 | 2018 | 242,63 | 0 | 0,00 |
| 12 | 6,00 | 3 | 5 | 2018 | 242,61 | 46 | 0,77 |
| 15 | 54,00 | 3 | 5 | 2018 | 242,51 | 274 | 4,57 |
| 17 | 17,00 | 3 | 5 | 2018 | 242,47 | 357 | 5,95 |
| 9 | 1,00 | 4 | 5 | 2018 | 242,09 | 1301 | 21,68 |
| 12 | 12,00 | 4 | 5 | 2018 | 242,01 | 1492 | 24,87 |
| 17 | 12,00 | 4 | 5 | 2018 | 241,90 | 1792 | 29,87 |
| 15 | 59,00 | 5 | 5 | 2018 | 241,38 | 3159 | 52,65 |
| 10 | 4,00 | 7 | 5 | 2018 | 240,62 | 5684 | 94,73 |
| 13 | 59,00 | 7 | 5 | 2018 | 240,58 | 5919 | 98,65 |
| 10 | 6,00 | 8 | 5 | 2018 | 240,44 | 7126 | 118,77 |
| 14 | 58,00 | 8 | 5 | 2018 | 240,42 | 7418 | 123,63 |
| 10 | 42,00 | 10 | 5 | 2018 | 240,23 | 10042 | 167,37 |
| 15 | 54,00 | 10 | 5 | 2018 | 240,21 | 10354 | 172,57 |
| 10 | 36,00 | 11 | 5 | 2018 | 240,14 | 11476 | 191,27 |
| 8 | 45,00 | 14 | 5 | 2018 | 239,94 | 15685 | 261,42 |
| 8 | 44,00 | 15 | 5 | 2018 | 239,90 | 17124 | 285,40 |
| 8 | 45,00 | 16 | 5 | 2018 | 239,85 | 18565 | 309,42 |
| 8 | 38,00 | 17 | 5 | 2018 | 239,83 | 19998 | 333,30 |
| 8 | 40,00 | 18 | 5 | 2018 | 239,79 | 21440 | 357,33 |
| 8 | 40,00 | 21 | 5 | 2018 | 239,69 | 25760 | 429,33 |
| 8 | 40,00 | 22 | 5 | 2018 | 239,67 | 27200 | 453,33 |
| 8 | 38,00 | 23 | 5 | 2018 | 239,63 | 28638 | 477,30 |
| 8 | 53,00 | 24 | 5 | 2018 | 239,62 | 30093 | 501,55 |
| 9 | 18,00 | 25 | 5 | 2018 | 239,59 | 31558 | 525,97 |
| 8 | 44,00 | 29 | 5 | 2018 | 239,55 | 37284 | 621,40 |
| 8 | 53,00 | 1 | 6 | 2018 | 239,54 | 41613 | 693,55 |
| 9 | 8,00 | 8 | 6 | 2018 | 239,53 | 51708 | 861,80 |
| 8 | 40,00 | 11 | 6 | 2018 | 239,53 | 56000 | 933,33 |
| 10 | 14,00 | 15 | 6 | 2018 | 239,53 | 61854 | 1030,90 |

Dados do provete MLB5

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 242,63 |
| Secção (cm ²) | 16,45 |
| Altura (cm) | 5,76 |
| Saturação crítica (%) | 34 |

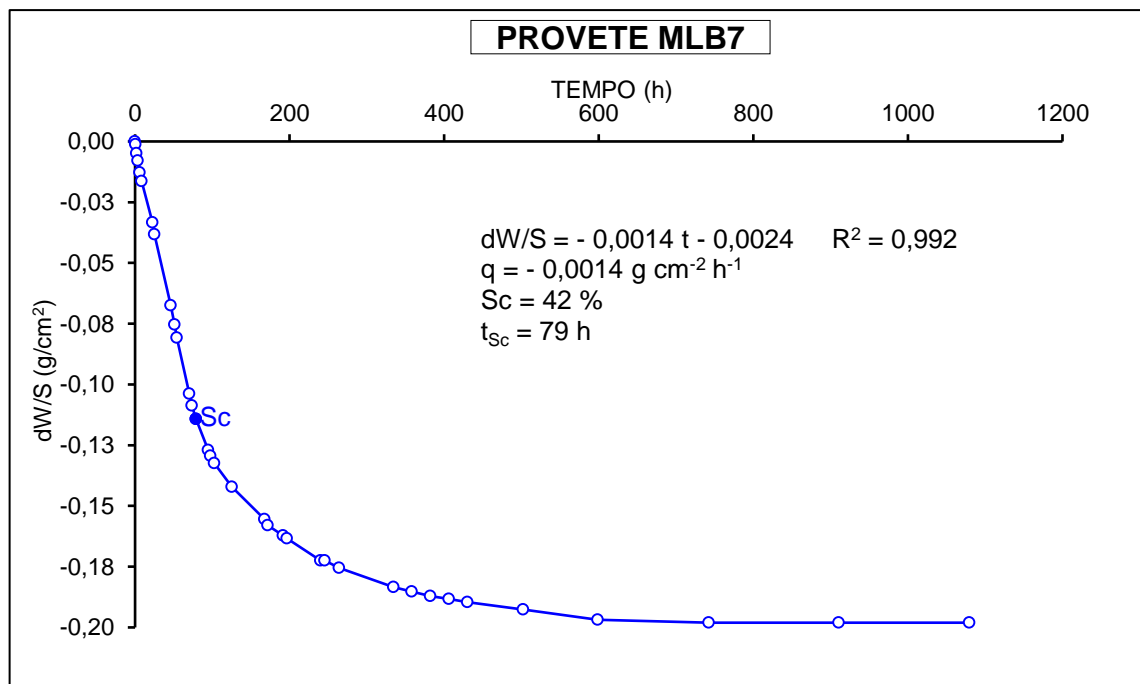


Anexo 59 - Ensaio de evaporação – Provete MLB7

| PROVETE MLB7 | | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 35 | 30 | 4 | 2018 | 263,45 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 1 | 30 | 4 | 2018 | 263,43 | 26 | 0,43 | -0,0012 |
| 12 | 31 | 30 | 4 | 2018 | 263,37 | 116 | 1,93 | -0,0049 |
| 14 | 12 | 30 | 4 | 2018 | 263,32 | 217 | 3,62 | -0,0079 |
| 16 | 33 | 30 | 4 | 2018 | 263,24 | 358 | 5,97 | -0,0128 |
| 19 | 15 | 30 | 4 | 2018 | 263,18 | 520 | 8,67 | -0,0164 |
| 9 | 18 | 1 | 5 | 2018 | 262,90 | 1363 | 22,72 | -0,0334 |
| 11 | 46 | 1 | 5 | 2018 | 262,82 | 1511 | 25,18 | -0,0383 |
| 8 | 47 | 2 | 5 | 2018 | 262,34 | 2772 | 46,20 | -0,0674 |
| 13 | 43 | 2 | 5 | 2018 | 262,21 | 3068 | 51,13 | -0,0753 |
| 16 | 42 | 2 | 5 | 2018 | 262,12 | 3247 | 54,12 | -0,0808 |
| 8 | 47 | 3 | 5 | 2018 | 261,74 | 4212 | 70,20 | -0,1039 |
| 12 | 11 | 3 | 5 | 2018 | 261,66 | 4416 | 73,60 | -0,1087 |
| 17 | 22 | 3 | 5 | 2018 | 261,57 | 4727 | 78,78 | -0,1142 |
| 9 | 7 | 4 | 5 | 2018 | 261,36 | 5672 | 94,53 | -0,1270 |
| 12 | 18 | 4 | 5 | 2018 | 261,32 | 5863 | 97,72 | -0,1294 |
| 17 | 18 | 4 | 5 | 2018 | 261,27 | 6163 | 102,72 | -0,1324 |
| 16 | 2 | 5 | 5 | 2018 | 261,11 | 7527 | 125,45 | -0,1422 |
| 10 | 10 | 7 | 5 | 2018 | 260,89 | 10055 | 167,58 | -0,1555 |
| 14 | 5 | 7 | 5 | 2018 | 260,85 | 10290 | 171,50 | -0,1580 |
| 10 | 12 | 8 | 5 | 2018 | 260,78 | 11497 | 191,62 | -0,1622 |
| 15 | 4 | 8 | 5 | 2018 | 260,76 | 11789 | 196,48 | -0,1634 |
| 10 | 49 | 10 | 5 | 2018 | 260,61 | 14414 | 240,23 | -0,1725 |
| 16 | 0 | 10 | 5 | 2018 | 260,61 | 14725 | 245,42 | -0,1725 |
| 10 | 42 | 11 | 5 | 2018 | 260,56 | 15847 | 264,12 | -0,1756 |
| 8 | 52 | 14 | 5 | 2018 | 260,43 | 20057 | 334,28 | -0,1835 |
| 8 | 51 | 15 | 5 | 2018 | 260,40 | 21496 | 358,27 | -0,1853 |
| 8 | 51 | 16 | 5 | 2018 | 260,37 | 22936 | 382,27 | -0,1871 |
| 8 | 44 | 17 | 5 | 2018 | 260,35 | 24369 | 406,15 | -0,1883 |
| 8 | 47 | 18 | 5 | 2018 | 260,33 | 25812 | 430,20 | -0,1895 |
| 8 | 45 | 21 | 5 | 2018 | 260,28 | 30130 | 502,17 | -0,1926 |
| 9 | 25 | 25 | 5 | 2018 | 260,21 | 35930 | 598,83 | -0,1968 |
| 9 | 0 | 1 | 6 | 2018 | 260,19 | 44545 | 742,42 | -0,1981 |
| 9 | 20 | 8 | 6 | 2018 | 260,19 | 54645 | 910,75 | -0,1981 |
| 10 | 20 | 15 | 6 | 2018 | 260,19 | 64785 | 1079,75 | -0,1981 |

Dados do provete MLB7

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 263,45 |
| Secção (cm ²) | 16,46 |
| Altura (cm) | 6,24 |
| Saturação crítica (%) | 42 |

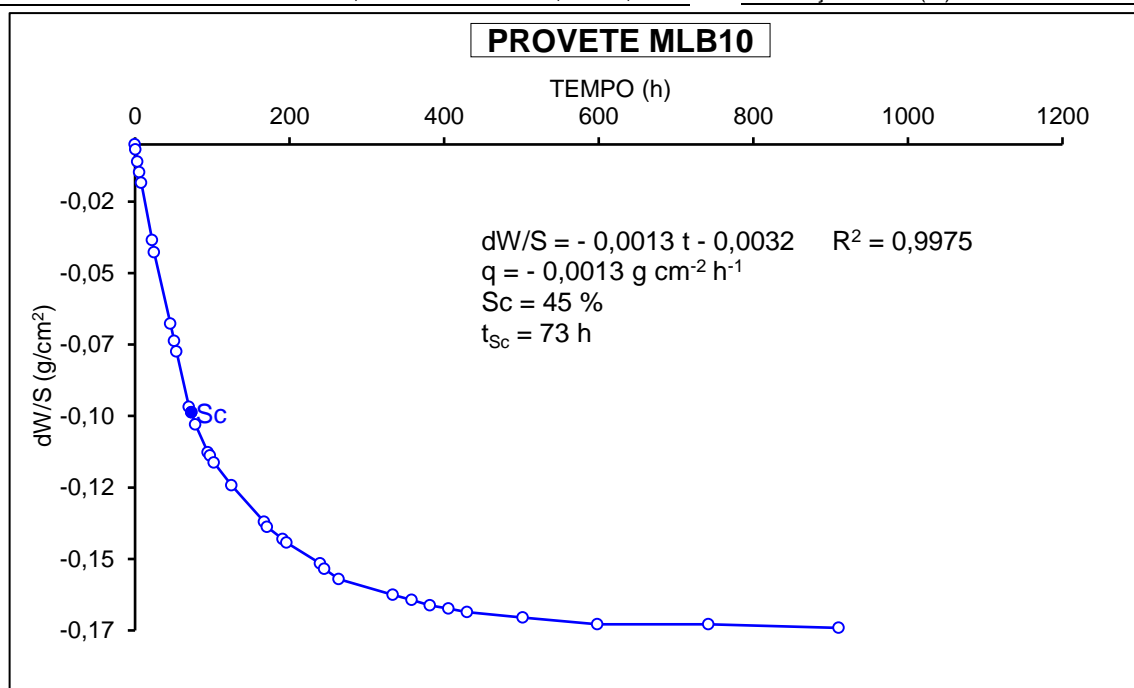


Anexo 60 - Ensaio de evaporação – Provete MLB10

| PROVETE MLB10 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 9 | 30 | 4 | 2018 | 254,15 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 54 | 30 | 4 | 2018 | 254,12 | 45 | 0,75 | -0,0018 |
| 14 | 17 | 30 | 4 | 2018 | 254,05 | 188 | 3,13 | -0,0061 |
| 16 | 37 | 30 | 4 | 2018 | 253,99 | 328 | 5,47 | -0,0097 |
| 19 | 19 | 30 | 4 | 2018 | 253,93 | 490 | 8,17 | -0,0134 |
| 9 | 26 | 1 | 5 | 2018 | 253,60 | 1337 | 22,28 | -0,0335 |
| 11 | 49 | 1 | 5 | 2018 | 253,53 | 1480 | 24,67 | -0,0377 |
| 8 | 55 | 2 | 5 | 2018 | 253,12 | 2746 | 45,77 | -0,0627 |
| 13 | 50 | 2 | 5 | 2018 | 253,02 | 3041 | 50,68 | -0,0687 |
| 16 | 49 | 2 | 5 | 2018 | 252,96 | 3220 | 53,67 | -0,0724 |
| 8 | 54 | 3 | 5 | 2018 | 252,64 | 4185 | 69,75 | -0,0919 |
| 12 | 18 | 3 | 5 | 2018 | 252,61 | 4389 | 73,15 | -0,0937 |
| 17 | 26 | 3 | 5 | 2018 | 252,54 | 4697 | 78,28 | -0,0979 |
| 9 | 14 | 4 | 5 | 2018 | 252,38 | 5645 | 94,08 | -0,1077 |
| 12 | 23 | 4 | 5 | 2018 | 252,36 | 5834 | 97,23 | -0,1089 |
| 17 | 24 | 4 | 5 | 2018 | 252,32 | 6135 | 102,25 | -0,1113 |
| 16 | 5 | 5 | 5 | 2018 | 252,19 | 7496 | 124,93 | -0,1192 |
| 10 | 18 | 7 | 5 | 2018 | 251,98 | 10029 | 167,15 | -0,1320 |
| 14 | 12 | 7 | 5 | 2018 | 251,95 | 10263 | 171,05 | -0,1338 |
| 10 | 19 | 8 | 5 | 2018 | 251,88 | 11470 | 191,17 | -0,1381 |
| 15 | 12 | 8 | 5 | 2018 | 251,86 | 11763 | 196,05 | -0,1393 |
| 10 | 57 | 10 | 5 | 2018 | 251,74 | 14388 | 239,80 | -0,1466 |
| 16 | 6 | 10 | 5 | 2018 | 251,71 | 14697 | 244,95 | -0,1484 |
| 10 | 49 | 11 | 5 | 2018 | 251,65 | 15820 | 263,67 | -0,1521 |
| 8 | 59 | 14 | 5 | 2018 | 251,56 | 20030 | 333,83 | -0,1576 |
| 9 | 1 | 15 | 5 | 2018 | 251,53 | 21472 | 357,87 | -0,1594 |
| 8 | 58 | 16 | 5 | 2018 | 251,50 | 22909 | 381,82 | -0,1612 |
| 8 | 51 | 17 | 5 | 2018 | 251,48 | 24342 | 405,70 | -0,1624 |
| 8 | 54 | 18 | 5 | 2018 | 251,46 | 25785 | 429,75 | -0,1636 |
| 8 | 53 | 21 | 5 | 2018 | 251,43 | 30104 | 501,73 | -0,1655 |
| 9 | 32 | 25 | 5 | 2018 | 251,39 | 35903 | 598,38 | -0,1679 |
| 9 | 7 | 1 | 6 | 2018 | 251,39 | 44518 | 741,97 | -0,1679 |
| 9 | 34 | 8 | 6 | 2018 | 251,37 | 54625 | 910,42 | -0,1691 |
| 10 | 27 | 15 | 6 | 2018 | 251,37 | 64758 | 1079,30 | -0,1691 |

Dados do provete MLB10

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 254,15 |
| Secção (cm ²) | 16,44 |
| Altura (cm) | 5,97 |
| Saturação crítica (%) | 45 |

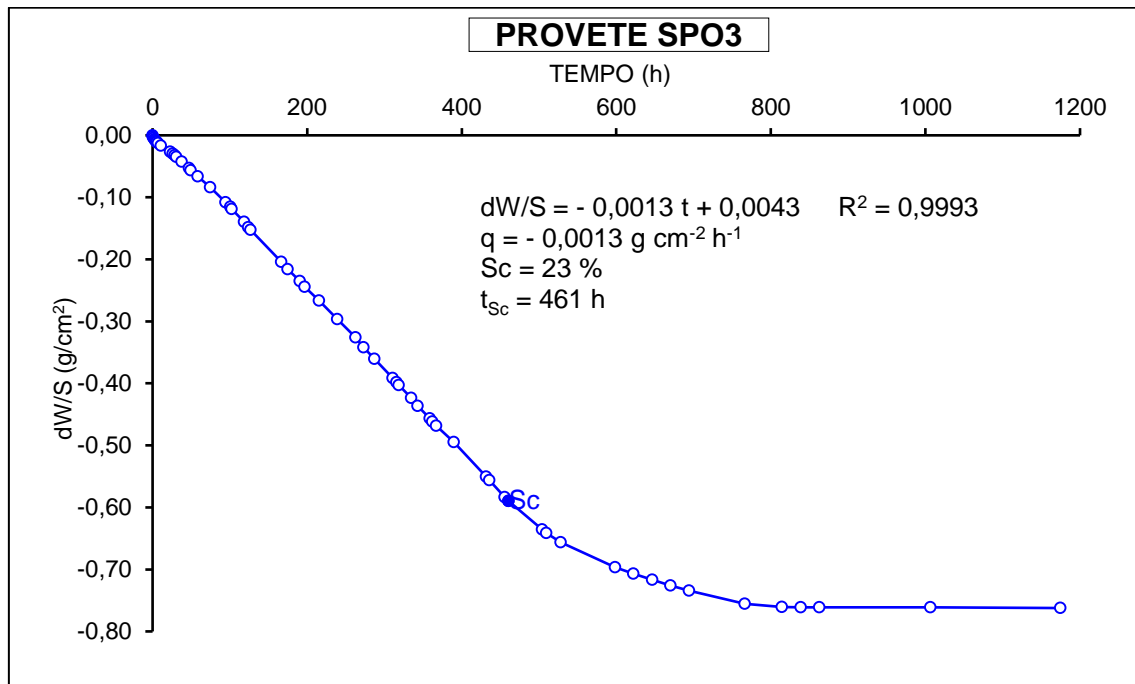


Anexo 61 - Ensaio de evaporação – Provete SPO3

| PROVETE SPO3 | | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 0 | 19 | 4 | 2018 | 273,85 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 20 | 19 | 4 | 2018 | 273,81 | 20 | 0,33 | -0,0021 |
| 11 | 27 | 19 | 4 | 2018 | 273,77 | 87 | 1,45 | -0,0043 |
| 12 | 26 | 19 | 4 | 2018 | 273,73 | 146 | 2,43 | -0,0064 |
| 13 | 32 | 19 | 4 | 2018 | 273,70 | 212 | 3,53 | -0,0081 |
| 14 | 31 | 19 | 4 | 2018 | 273,67 | 271 | 4,52 | -0,0097 |
| 15 | 36 | 19 | 4 | 2018 | 273,64 | 336 | 5,60 | -0,0113 |
| 17 | 2 | 19 | 4 | 2018 | 273,62 | 422 | 7,03 | -0,0123 |
| 21 | 3 | 19 | 4 | 2018 | 273,54 | 663 | 11,05 | -0,0166 |
| 8 | 56 | 20 | 4 | 2018 | 273,36 | 1376 | 22,93 | -0,0263 |
| 12 | 18 | 20 | 4 | 2018 | 273,30 | 1578 | 26,30 | -0,0295 |
| 14 | 36 | 20 | 4 | 2018 | 273,25 | 1716 | 28,60 | -0,0322 |
| 16 | 57 | 20 | 4 | 2018 | 273,20 | 1857 | 30,95 | -0,0349 |
| 23 | 37 | 20 | 4 | 2018 | 273,06 | 2257 | 37,62 | -0,0424 |
| 9 | 21 | 21 | 4 | 2018 | 272,87 | 2841 | 47,35 | -0,0526 |
| 11 | 33 | 21 | 4 | 2018 | 272,80 | 2973 | 49,55 | -0,0564 |
| 20 | 28 | 21 | 4 | 2018 | 272,62 | 3508 | 58,47 | -0,0660 |
| 12 | 30 | 22 | 4 | 2018 | 272,29 | 4470 | 74,50 | -0,0837 |
| 8 | 28 | 23 | 4 | 2018 | 271,84 | 5668 | 94,47 | -0,1079 |
| 14 | 33 | 23 | 4 | 2018 | 271,70 | 6033 | 100,55 | -0,1154 |
| 16 | 31 | 23 | 4 | 2018 | 271,63 | 6151 | 102,52 | -0,1192 |
| 8 | 44 | 24 | 4 | 2018 | 271,25 | 7124 | 118,73 | -0,1396 |
| 14 | 1 | 24 | 4 | 2018 | 271,09 | 7441 | 124,02 | -0,1482 |
| 16 | 49 | 24 | 4 | 2018 | 271,01 | 7609 | 126,82 | -0,1525 |
| 8 | 48 | 26 | 4 | 2018 | 270,05 | 10008 | 166,80 | -0,2040 |
| 17 | 3 | 26 | 4 | 2018 | 269,83 | 10503 | 175,05 | -0,2158 |
| 8 | 45 | 27 | 4 | 2018 | 269,47 | 11445 | 190,75 | -0,2351 |
| 14 | 55 | 27 | 4 | 2018 | 269,30 | 11815 | 196,92 | -0,2443 |
| 9 | 16 | 28 | 4 | 2018 | 268,88 | 12916 | 215,27 | -0,2668 |
| 9 | 14 | 29 | 4 | 2018 | 268,33 | 14354 | 239,23 | -0,2963 |
| 8 | 37 | 30 | 4 | 2018 | 267,78 | 15757 | 262,62 | -0,3259 |
| 19 | 11 | 30 | 4 | 2018 | 267,48 | 16391 | 273,18 | -0,3420 |
| 9 | 11 | 1 | 5 | 2018 | 267,13 | 17231 | 287,18 | -0,3608 |
| 8 | 39 | 2 | 5 | 2018 | 266,56 | 18639 | 310,65 | -0,3914 |
| 13 | 36 | 2 | 5 | 2018 | 266,43 | 18936 | 315,60 | -0,3983 |
| 16 | 36 | 2 | 5 | 2018 | 266,35 | 19116 | 318,60 | -0,4026 |
| 8 | 40 | 3 | 5 | 2018 | 265,96 | 20080 | 334,67 | -0,4236 |
| 17 | 5 | 3 | 5 | 2018 | 265,72 | 20585 | 343,08 | -0,4365 |
| 8 | 44 | 4 | 5 | 2018 | 265,35 | 21524 | 358,73 | -0,4563 |
| 11 | 55 | 4 | 5 | 2018 | 265,25 | 21715 | 361,92 | -0,4617 |
| 16 | 55 | 4 | 5 | 2018 | 265,12 | 22015 | 366,92 | -0,4687 |
| 15 | 47 | 5 | 5 | 2018 | 264,63 | 23387 | 389,78 | -0,4950 |
| 9 | 45 | 7 | 5 | 2018 | 263,60 | 25905 | 431,75 | -0,5503 |
| 13 | 43 | 7 | 5 | 2018 | 263,49 | 26143 | 435,72 | -0,5562 |
| 9 | 48 | 8 | 5 | 2018 | 262,98 | 27348 | 455,80 | -0,5836 |
| 14 | 40 | 8 | 5 | 2018 | 262,86 | 27640 | 460,67 | -0,5900 |
| 10 | 21 | 10 | 5 | 2018 | 262,01 | 30261 | 504,35 | -0,6356 |
| 15 | 39 | 10 | 5 | 2018 | 261,90 | 30579 | 509,65 | -0,6415 |
| 10 | 17 | 11 | 5 | 2018 | 261,62 | 31697 | 528,28 | -0,6566 |
| 8 | 27 | 14 | 5 | 2018 | 260,87 | 35907 | 598,45 | -0,6968 |
| 8 | 24 | 15 | 5 | 2018 | 260,68 | 37344 | 622,40 | -0,7070 |
| 8 | 30 | 16 | 5 | 2018 | 260,50 | 38790 | 646,50 | -0,7167 |
| 8 | 23 | 17 | 5 | 2018 | 260,33 | 40223 | 670,38 | -0,7258 |
| 8 | 23 | 18 | 5 | 2018 | 260,17 | 41663 | 694,38 | -0,7344 |
| 8 | 24 | 21 | 5 | 2018 | 259,78 | 45984 | 766,40 | -0,7553 |
| 8 | 24 | 23 | 5 | 2018 | 259,68 | 48864 | 814,40 | -0,7607 |
| 8 | 39 | 24 | 5 | 2018 | 259,67 | 50319 | 838,65 | -0,7613 |
| 9 | 2 | 25 | 5 | 2018 | 259,67 | 51782 | 863,03 | -0,7613 |
| 8 | 27 | 1 | 6 | 2018 | 259,67 | 60387 | 1006,45 | -0,7613 |
| 8 | 38 | 8 | 6 | 2018 | 259,65 | 70478 | 1174,63 | -0,7623 |

Dados do provete SPO3

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 273,85 |
| Secção (cm ²) | 18,63 |
| Altura (cm) | 5,94 |
| Saturação crítica (%) | 23 |

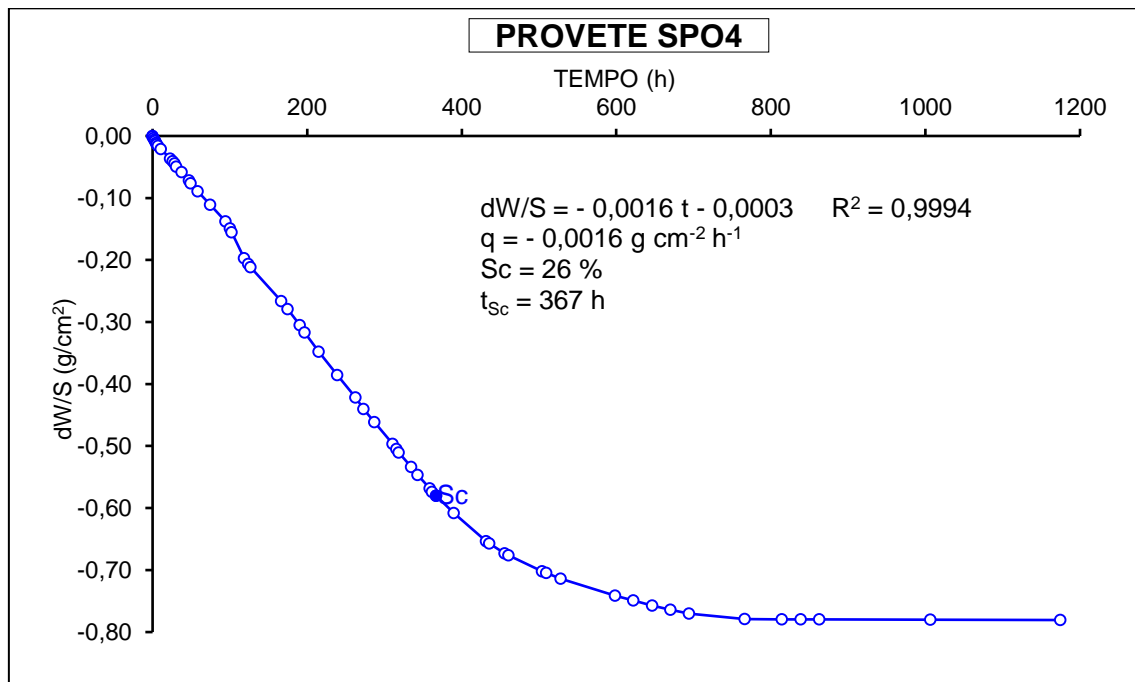


Anexo 62 - Ensaio de evaporação – Provete SPO4

| PROVETE SPO4 | | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 2 | 19 | 4 | 2018 | 277,86 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 20 | 19 | 4 | 2018 | 277,84 | 18 | 0,30 | -0,0011 |
| 11 | 27 | 19 | 4 | 2018 | 277,79 | 85 | 1,42 | -0,0037 |
| 12 | 27 | 19 | 4 | 2018 | 277,74 | 145 | 2,42 | -0,0064 |
| 13 | 32 | 19 | 4 | 2018 | 277,70 | 210 | 3,50 | -0,0085 |
| 14 | 32 | 19 | 4 | 2018 | 277,65 | 270 | 4,50 | -0,0112 |
| 15 | 36 | 19 | 4 | 2018 | 277,61 | 334 | 5,57 | -0,0133 |
| 17 | 3 | 19 | 4 | 2018 | 277,56 | 421 | 7,02 | -0,0159 |
| 21 | 3 | 19 | 4 | 2018 | 277,46 | 661 | 11,02 | -0,0213 |
| 8 | 57 | 20 | 4 | 2018 | 277,17 | 1375 | 22,92 | -0,0367 |
| 12 | 18 | 20 | 4 | 2018 | 277,09 | 1576 | 26,27 | -0,0409 |
| 14 | 37 | 20 | 4 | 2018 | 277,02 | 1715 | 28,58 | -0,0446 |
| 16 | 58 | 20 | 4 | 2018 | 276,93 | 1856 | 30,93 | -0,0494 |
| 23 | 37 | 20 | 4 | 2018 | 276,76 | 2255 | 37,58 | -0,0585 |
| 9 | 22 | 21 | 4 | 2018 | 276,51 | 2840 | 47,33 | -0,0717 |
| 11 | 34 | 21 | 4 | 2018 | 276,42 | 2972 | 49,53 | -0,0765 |
| 20 | 29 | 21 | 4 | 2018 | 276,18 | 3507 | 58,45 | -0,0893 |
| 12 | 30 | 22 | 4 | 2018 | 275,77 | 4468 | 74,47 | -0,1111 |
| 8 | 28 | 23 | 4 | 2018 | 275,27 | 5666 | 94,43 | -0,1376 |
| 14 | 33 | 23 | 4 | 2018 | 275,05 | 6031 | 100,52 | -0,1493 |
| 16 | 31 | 23 | 4 | 2018 | 274,94 | 6149 | 102,48 | -0,1552 |
| 8 | 45 | 24 | 4 | 2018 | 274,15 | 7123 | 118,72 | -0,1971 |
| 14 | 2 | 24 | 4 | 2018 | 273,97 | 7440 | 124,00 | -0,2067 |
| 16 | 49 | 24 | 4 | 2018 | 273,88 | 7607 | 126,78 | -0,2115 |
| 8 | 48 | 26 | 4 | 2018 | 272,85 | 10006 | 166,77 | -0,2662 |
| 17 | 4 | 26 | 4 | 2018 | 272,60 | 10502 | 175,03 | -0,2795 |
| 8 | 45 | 27 | 4 | 2018 | 272,12 | 11443 | 190,72 | -0,3050 |
| 14 | 55 | 27 | 4 | 2018 | 271,89 | 11813 | 196,88 | -0,3172 |
| 9 | 16 | 28 | 4 | 2018 | 271,31 | 12914 | 215,23 | -0,3481 |
| 9 | 15 | 29 | 4 | 2018 | 270,60 | 14353 | 239,22 | -0,3858 |
| 8 | 38 | 30 | 4 | 2018 | 269,92 | 15756 | 262,60 | -0,4219 |
| 19 | 11 | 30 | 4 | 2018 | 269,57 | 16389 | 273,15 | -0,4405 |
| 9 | 11 | 1 | 5 | 2018 | 269,17 | 17229 | 287,15 | -0,4618 |
| 8 | 40 | 2 | 5 | 2018 | 268,51 | 18638 | 310,63 | -0,4968 |
| 13 | 37 | 2 | 5 | 2018 | 268,36 | 18935 | 315,58 | -0,5048 |
| 16 | 37 | 2 | 5 | 2018 | 268,25 | 19115 | 318,58 | -0,5107 |
| 8 | 40 | 3 | 5 | 2018 | 267,81 | 20078 | 334,63 | -0,5340 |
| 17 | 6 | 3 | 5 | 2018 | 267,57 | 20584 | 343,07 | -0,5468 |
| 8 | 45 | 4 | 5 | 2018 | 267,16 | 21523 | 358,72 | -0,5686 |
| 11 | 55 | 4 | 5 | 2018 | 267,06 | 21713 | 361,88 | -0,5739 |
| 16 | 56 | 4 | 5 | 2018 | 266,94 | 22014 | 366,90 | -0,5803 |
| 15 | 47 | 5 | 5 | 2018 | 266,41 | 23385 | 389,75 | -0,6084 |
| 9 | 45 | 7 | 5 | 2018 | 265,56 | 25903 | 431,72 | -0,6536 |
| 13 | 43 | 7 | 5 | 2018 | 265,49 | 26141 | 435,68 | -0,6573 |
| 9 | 48 | 8 | 5 | 2018 | 265,19 | 27346 | 455,77 | -0,6733 |
| 14 | 40 | 8 | 5 | 2018 | 265,13 | 27638 | 460,63 | -0,6764 |
| 10 | 22 | 10 | 5 | 2018 | 264,65 | 30260 | 504,33 | -0,7020 |
| 15 | 39 | 10 | 5 | 2018 | 264,60 | 30577 | 509,62 | -0,7046 |
| 10 | 18 | 11 | 5 | 2018 | 264,42 | 31696 | 528,27 | -0,7142 |
| 8 | 28 | 14 | 5 | 2018 | 263,91 | 35906 | 598,43 | -0,7413 |
| 8 | 25 | 15 | 5 | 2018 | 263,76 | 37343 | 622,38 | -0,7492 |
| 8 | 31 | 16 | 5 | 2018 | 263,61 | 38789 | 646,48 | -0,7572 |
| 8 | 23 | 17 | 5 | 2018 | 263,48 | 40221 | 670,35 | -0,7641 |
| 8 | 24 | 18 | 5 | 2018 | 263,36 | 41662 | 694,37 | -0,7705 |
| 8 | 24 | 21 | 5 | 2018 | 263,20 | 45982 | 766,37 | -0,7790 |
| 8 | 24 | 23 | 5 | 2018 | 263,19 | 48862 | 814,37 | -0,7795 |
| 8 | 40 | 24 | 5 | 2018 | 263,19 | 50318 | 838,63 | -0,7795 |
| 9 | 3 | 25 | 5 | 2018 | 263,19 | 51781 | 863,02 | -0,7795 |
| 8 | 28 | 1 | 6 | 2018 | 263,18 | 60386 | 1006,43 | -0,7801 |
| 8 | 39 | 8 | 6 | 2018 | 263,17 | 70477 | 1174,62 | -0,7806 |

Dados do provete SPO4

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 277,86 |
| Secção (cm ²) | 18,82 |
| Altura (cm) | 6,00 |
| Saturação crítica (%) | 26 |

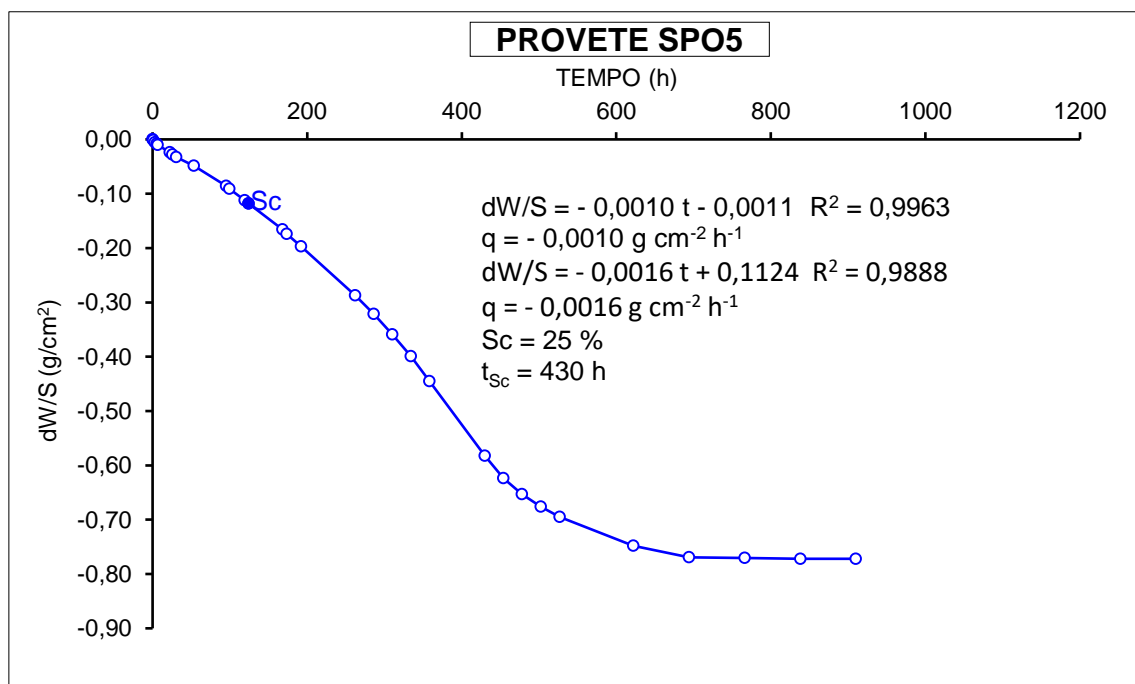


Anexo 63 - Ensaio de evaporação – Provete SPO5

| PROVETE SPO5 | | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|--------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 18 | 3 | 5 | 2018 | 276,70 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 7 | 3 | 5 | 2018 | 276,67 | 49 | 0,82 | -0,0016 |
| 13 | 25 | 3 | 5 | 2018 | 276,60 | 187 | 3,12 | -0,0054 |
| 15 | 44 | 3 | 5 | 2018 | 276,55 | 326 | 5,43 | -0,0081 |
| 17 | 9 | 3 | 5 | 2018 | 276,51 | 411 | 6,85 | -0,0102 |
| 8 | 50 | 4 | 5 | 2018 | 276,25 | 1352 | 22,53 | -0,0242 |
| 12 | 1 | 4 | 5 | 2018 | 276,18 | 1543 | 25,72 | -0,0279 |
| 17 | 1 | 4 | 5 | 2018 | 276,09 | 1843 | 30,72 | -0,0327 |
| 15 | 50 | 5 | 5 | 2018 | 275,79 | 3212 | 53,53 | -0,0489 |
| 9 | 50 | 7 | 5 | 2018 | 275,10 | 5732 | 95,53 | -0,0859 |
| 13 | 48 | 7 | 5 | 2018 | 275,00 | 5970 | 99,50 | -0,0913 |
| 9 | 53 | 8 | 5 | 2018 | 274,61 | 7175 | 119,58 | -0,1122 |
| 14 | 46 | 8 | 5 | 2018 | 274,50 | 7468 | 124,47 | -0,1181 |
| 10 | 27 | 10 | 5 | 2018 | 273,61 | 10089 | 168,15 | -0,1659 |
| 15 | 45 | 10 | 5 | 2018 | 273,46 | 10407 | 173,45 | -0,1739 |
| 10 | 24 | 11 | 5 | 2018 | 273,03 | 11526 | 192,10 | -0,1970 |
| 8 | 33 | 14 | 5 | 2018 | 271,35 | 15735 | 262,25 | -0,2872 |
| 8 | 30 | 15 | 5 | 2018 | 270,71 | 17172 | 286,20 | -0,3216 |
| 8 | 35 | 16 | 5 | 2018 | 270,01 | 18617 | 310,28 | -0,3592 |
| 8 | 28 | 17 | 5 | 2018 | 269,26 | 20050 | 334,17 | -0,3994 |
| 8 | 30 | 18 | 5 | 2018 | 268,41 | 21492 | 358,20 | -0,4450 |
| 8 | 29 | 21 | 5 | 2018 | 265,85 | 25811 | 430,18 | -0,5825 |
| 8 | 29 | 22 | 5 | 2018 | 265,08 | 27251 | 454,18 | -0,6238 |
| 8 | 28 | 23 | 5 | 2018 | 264,53 | 28690 | 478,17 | -0,6533 |
| 8 | 44 | 24 | 5 | 2018 | 264,10 | 30146 | 502,43 | -0,6764 |
| 9 | 7 | 25 | 5 | 2018 | 263,75 | 31609 | 526,82 | -0,6952 |
| 8 | 35 | 29 | 5 | 2018 | 262,77 | 37337 | 622,28 | -0,7478 |
| 8 | 33 | 1 | 6 | 2018 | 262,37 | 41655 | 694,25 | -0,7693 |
| 8 | 38 | 4 | 6 | 2018 | 262,35 | 45980 | 766,33 | -0,7704 |
| 8 | 48 | 8 | 6 | 2018 | 262,32 | 50310 | 838,50 | -0,7720 |
| 8 | 28 | 11 | 6 | 2018 | 262,32 | 54610 | 910,17 | -0,7720 |

Dados do provete SPO5

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 276,70 |
| Secção (cm ²) | 18,63 |
| Altura (cm) | 5,98 |
| Saturação crítica (%) | 25 |

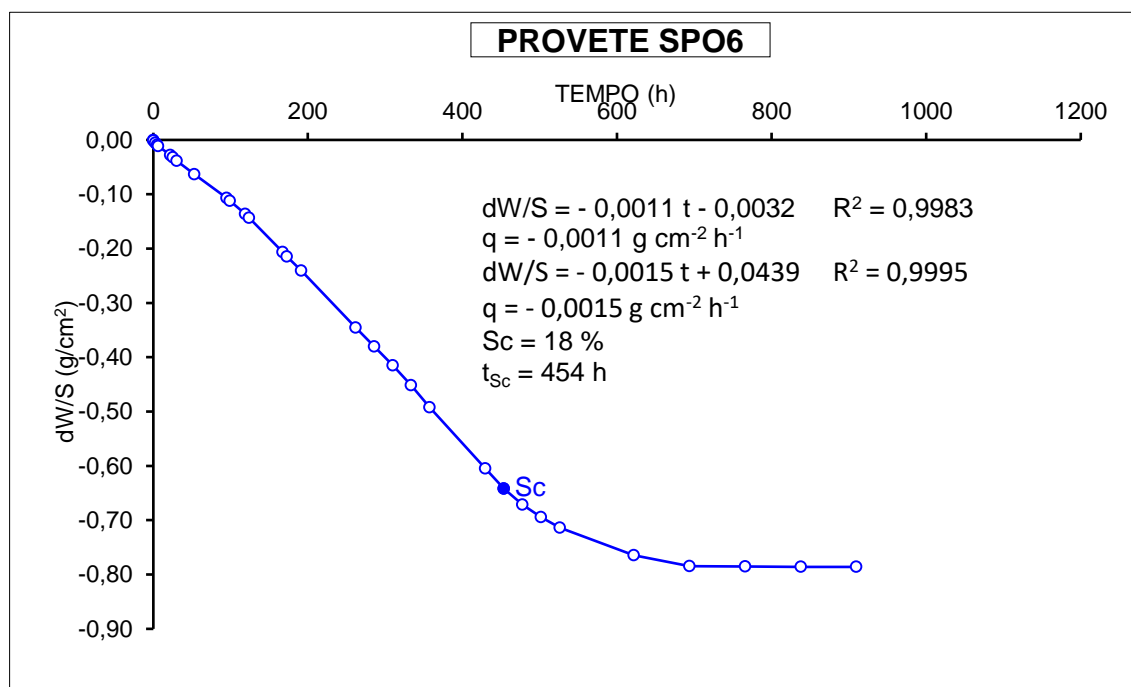


Anexo 64 - Ensaio de evaporação – Provete SPO6

| PROVETE SPO6 | | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|--------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 50 | 3 | 5 | 2018 | 276,95 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 10 | 3 | 5 | 2018 | 276,92 | 20 | 0,33 | -0,0016 |
| 13 | 28 | 3 | 5 | 2018 | 276,84 | 158 | 2,63 | -0,0058 |
| 15 | 47 | 3 | 5 | 2018 | 276,78 | 297 | 4,95 | -0,0090 |
| 17 | 12 | 3 | 5 | 2018 | 276,73 | 382 | 6,37 | -0,0117 |
| 8 | 53 | 4 | 5 | 2018 | 276,42 | 1323 | 22,05 | -0,0281 |
| 12 | 5 | 4 | 5 | 2018 | 276,34 | 1515 | 25,25 | -0,0324 |
| 17 | 5 | 4 | 5 | 2018 | 276,22 | 1815 | 30,25 | -0,0387 |
| 15 | 53 | 5 | 5 | 2018 | 275,76 | 3183 | 53,05 | -0,0632 |
| 9 | 56 | 7 | 5 | 2018 | 274,94 | 5706 | 95,10 | -0,1067 |
| 13 | 51 | 7 | 5 | 2018 | 274,84 | 5941 | 99,02 | -0,1120 |
| 9 | 58 | 8 | 5 | 2018 | 274,38 | 7148 | 119,13 | -0,1364 |
| 14 | 50 | 8 | 5 | 2018 | 274,25 | 7440 | 124,00 | -0,1433 |
| 10 | 32 | 10 | 5 | 2018 | 273,06 | 10062 | 167,70 | -0,2065 |
| 15 | 48 | 10 | 5 | 2018 | 272,90 | 10378 | 172,97 | -0,2149 |
| 10 | 28 | 11 | 5 | 2018 | 272,42 | 11498 | 191,63 | -0,2404 |
| 8 | 38 | 14 | 5 | 2018 | 270,44 | 15708 | 261,80 | -0,3455 |
| 8 | 36 | 15 | 5 | 2018 | 269,78 | 17146 | 285,77 | -0,3805 |
| 8 | 38 | 16 | 5 | 2018 | 269,13 | 18588 | 309,80 | -0,4150 |
| 8 | 32 | 17 | 5 | 2018 | 268,44 | 20022 | 333,70 | -0,4517 |
| 8 | 34 | 18 | 5 | 2018 | 267,67 | 21464 | 357,73 | -0,4925 |
| 8 | 33 | 21 | 5 | 2018 | 265,55 | 25783 | 429,72 | -0,6050 |
| 8 | 34 | 22 | 5 | 2018 | 264,85 | 27224 | 453,73 | -0,6422 |
| 8 | 32 | 23 | 5 | 2018 | 264,30 | 28662 | 477,70 | -0,6714 |
| 8 | 47 | 24 | 5 | 2018 | 263,87 | 30117 | 501,95 | -0,6942 |
| 9 | 11 | 25 | 5 | 2018 | 263,50 | 31581 | 526,35 | -0,7138 |
| 8 | 38 | 29 | 5 | 2018 | 262,54 | 37308 | 621,80 | -0,7648 |
| 8 | 37 | 1 | 6 | 2018 | 262,17 | 41627 | 693,78 | -0,7844 |
| 8 | 41 | 4 | 6 | 2018 | 262,15 | 45951 | 765,85 | -0,7855 |
| 8 | 55 | 8 | 6 | 2018 | 262,14 | 50285 | 838,08 | -0,7860 |
| 8 | 32 | 11 | 6 | 2018 | 262,14 | 54582 | 909,70 | -0,7860 |

Dados do provete SPO6

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 276,95 |
| Secção (cm ²) | 18,84 |
| Altura (cm) | 6,00 |
| Saturação crítica (%) | 18 |

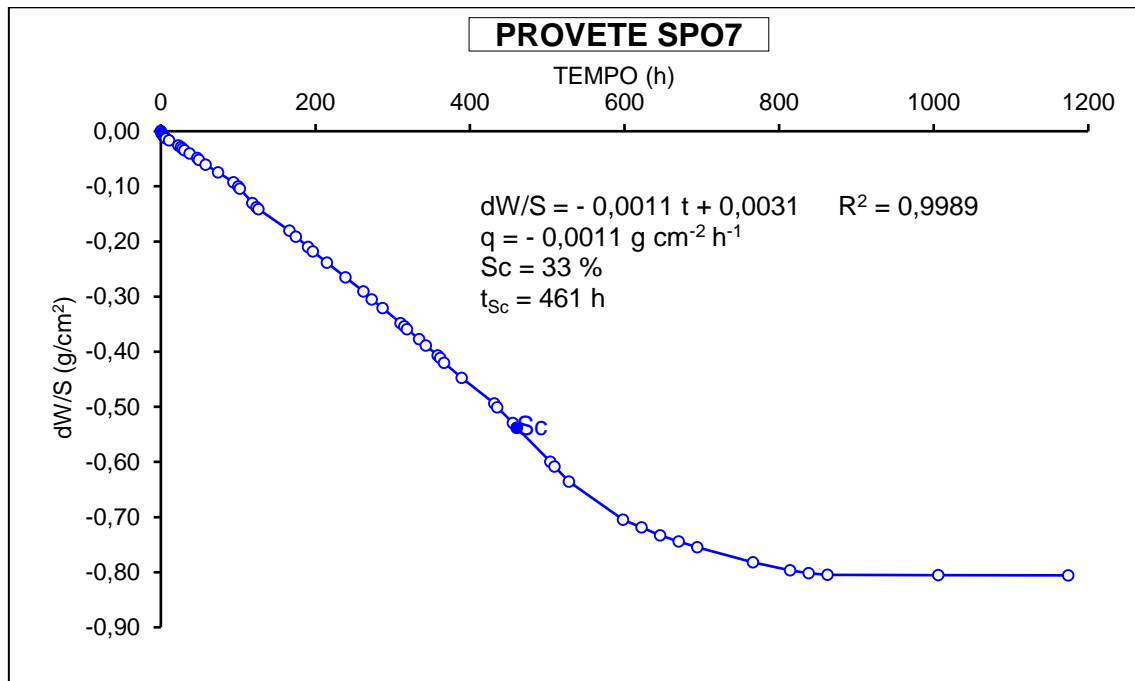


Anexo 65 - Ensaio de evaporação – Provete SPO7

| PROVETE SPO7 | | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 9 | 19 | 4 | 2018 | 275,90 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 21 | 19 | 4 | 2018 | 275,88 | 12 | 0,20 | -0,0011 |
| 11 | 27 | 19 | 4 | 2018 | 275,83 | 78 | 1,30 | -0,0037 |
| 12 | 27 | 19 | 4 | 2018 | 275,78 | 138 | 2,30 | -0,0064 |
| 13 | 33 | 19 | 4 | 2018 | 275,76 | 204 | 3,40 | -0,0074 |
| 14 | 33 | 19 | 4 | 2018 | 275,72 | 264 | 4,40 | -0,0095 |
| 15 | 37 | 19 | 4 | 2018 | 275,68 | 328 | 5,47 | -0,0117 |
| 17 | 3 | 19 | 4 | 2018 | 275,65 | 414 | 6,90 | -0,0133 |
| 21 | 4 | 19 | 4 | 2018 | 275,58 | 655 | 10,92 | -0,0170 |
| 8 | 57 | 20 | 4 | 2018 | 275,41 | 1368 | 22,80 | -0,0260 |
| 12 | 19 | 20 | 4 | 2018 | 275,35 | 1570 | 26,17 | -0,0292 |
| 14 | 38 | 20 | 4 | 2018 | 275,30 | 1709 | 28,48 | -0,0318 |
| 16 | 58 | 20 | 4 | 2018 | 275,24 | 1849 | 30,82 | -0,0350 |
| 23 | 38 | 20 | 4 | 2018 | 275,14 | 2249 | 37,48 | -0,0403 |
| 9 | 23 | 21 | 4 | 2018 | 274,98 | 2834 | 47,23 | -0,0488 |
| 11 | 34 | 21 | 4 | 2018 | 274,92 | 2965 | 49,42 | -0,0519 |
| 20 | 29 | 21 | 4 | 2018 | 274,75 | 3500 | 58,33 | -0,0610 |
| 12 | 31 | 22 | 4 | 2018 | 274,49 | 4462 | 74,37 | -0,0747 |
| 8 | 29 | 23 | 4 | 2018 | 274,15 | 5660 | 94,33 | -0,0928 |
| 14 | 33 | 23 | 4 | 2018 | 274,01 | 6024 | 100,40 | -0,1002 |
| 16 | 32 | 23 | 4 | 2018 | 273,93 | 6143 | 102,38 | -0,1044 |
| 8 | 45 | 24 | 4 | 2018 | 273,44 | 7116 | 118,60 | -0,1304 |
| 14 | 2 | 24 | 4 | 2018 | 273,30 | 7433 | 123,88 | -0,1378 |
| 16 | 50 | 24 | 4 | 2018 | 273,23 | 7601 | 126,68 | -0,1415 |
| 8 | 49 | 26 | 4 | 2018 | 272,50 | 10000 | 166,67 | -0,1802 |
| 17 | 4 | 26 | 4 | 2018 | 272,29 | 10495 | 174,92 | -0,1914 |
| 8 | 46 | 27 | 4 | 2018 | 271,94 | 11437 | 190,62 | -0,2099 |
| 14 | 56 | 27 | 4 | 2018 | 271,78 | 11807 | 196,78 | -0,2184 |
| 9 | 17 | 28 | 4 | 2018 | 271,40 | 12908 | 215,13 | -0,2385 |
| 9 | 15 | 29 | 4 | 2018 | 270,90 | 14346 | 239,10 | -0,2650 |
| 8 | 38 | 30 | 4 | 2018 | 270,41 | 15749 | 262,48 | -0,2910 |
| 19 | 12 | 30 | 4 | 2018 | 270,14 | 16383 | 273,05 | -0,3053 |
| 9 | 12 | 1 | 5 | 2018 | 269,84 | 17223 | 287,05 | -0,3212 |
| 8 | 40 | 2 | 5 | 2018 | 269,33 | 18631 | 310,52 | -0,3483 |
| 13 | 37 | 2 | 5 | 2018 | 269,22 | 18928 | 315,47 | -0,3541 |
| 16 | 37 | 2 | 5 | 2018 | 269,12 | 19108 | 318,47 | -0,3594 |
| 8 | 41 | 3 | 5 | 2018 | 268,78 | 20072 | 334,53 | -0,3774 |
| 17 | 6 | 3 | 5 | 2018 | 268,56 | 20577 | 342,95 | -0,3891 |
| 8 | 45 | 4 | 5 | 2018 | 268,22 | 21516 | 358,60 | -0,4071 |
| 11 | 56 | 4 | 5 | 2018 | 268,13 | 21707 | 361,78 | -0,4119 |
| 16 | 56 | 4 | 5 | 2018 | 267,97 | 22007 | 366,78 | -0,4204 |
| 15 | 47 | 5 | 5 | 2018 | 267,46 | 23378 | 389,63 | -0,4474 |
| 9 | 46 | 7 | 5 | 2018 | 266,58 | 25897 | 431,62 | -0,4940 |
| 13 | 43 | 7 | 5 | 2018 | 266,45 | 26134 | 435,57 | -0,5009 |
| 9 | 49 | 8 | 5 | 2018 | 265,91 | 27340 | 455,67 | -0,5295 |
| 14 | 41 | 8 | 5 | 2018 | 265,75 | 27632 | 460,53 | -0,5380 |
| 10 | 22 | 10 | 5 | 2018 | 264,59 | 30253 | 504,22 | -0,5995 |
| 15 | 40 | 10 | 5 | 2018 | 264,42 | 30571 | 509,52 | -0,6085 |
| 10 | 18 | 11 | 5 | 2018 | 263,91 | 31689 | 528,15 | -0,6356 |
| 8 | 28 | 14 | 5 | 2018 | 262,60 | 35899 | 598,32 | -0,7050 |
| 8 | 25 | 15 | 5 | 2018 | 262,34 | 37336 | 622,27 | -0,7188 |
| 8 | 31 | 16 | 5 | 2018 | 262,07 | 38782 | 646,37 | -0,7331 |
| 8 | 24 | 17 | 5 | 2018 | 261,86 | 40215 | 670,25 | -0,7442 |
| 8 | 24 | 18 | 5 | 2018 | 261,66 | 41655 | 694,25 | -0,7548 |
| 8 | 24 | 21 | 5 | 2018 | 261,14 | 45975 | 766,25 | -0,7824 |
| 8 | 25 | 23 | 5 | 2018 | 260,87 | 48856 | 814,27 | -0,7967 |
| 8 | 40 | 24 | 5 | 2018 | 260,77 | 50311 | 838,52 | -0,8020 |
| 9 | 3 | 25 | 5 | 2018 | 260,72 | 51774 | 862,90 | -0,8047 |
| 8 | 28 | 1 | 6 | 2018 | 260,71 | 60379 | 1006,32 | -0,8052 |
| 8 | 39 | 8 | 6 | 2018 | 260,70 | 70470 | 1174,50 | -0,8057 |

Dados do provete SPO7

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 275,90 |
| Secção (cm ²) | 18,87 |
| Altura (cm) | 5,98 |
| Saturação crítica (%) | 33 |

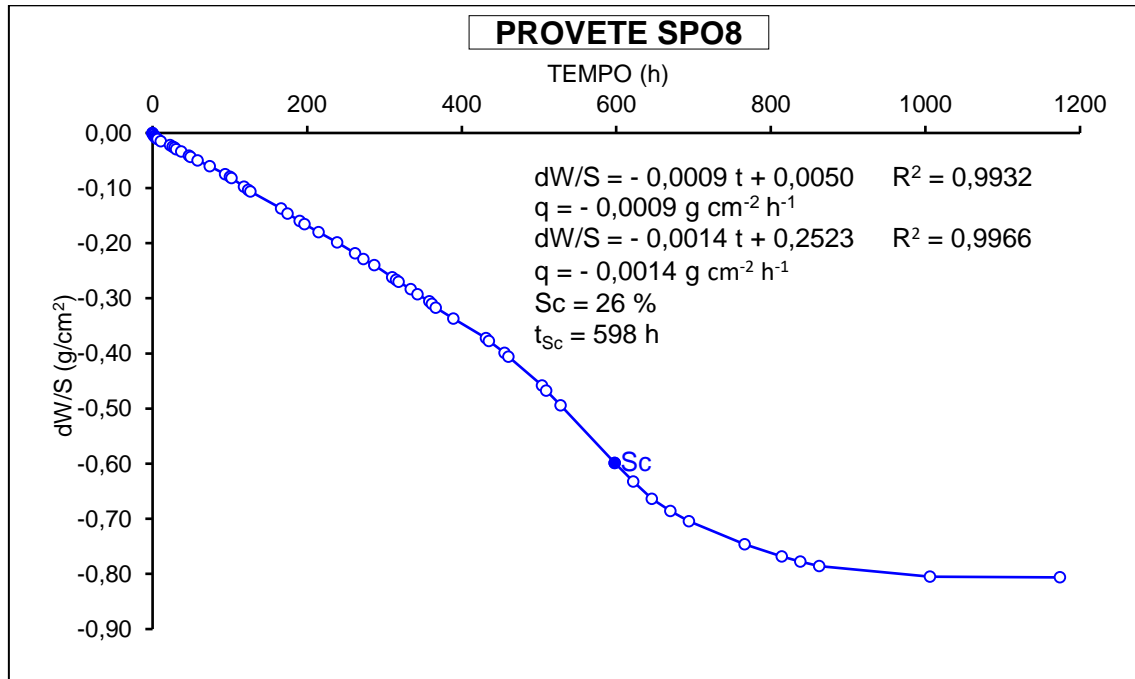


Anexo 66 - Ensaio de evaporação – Provete SPO8

| PROVETE SPO8 | | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 11 | 19 | 4 | 2018 | 277,42 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 21 | 19 | 4 | 2018 | 277,40 | 10 | 0,17 | -0,0011 |
| 11 | 28 | 19 | 4 | 2018 | 277,37 | 77 | 1,28 | -0,0027 |
| 12 | 28 | 19 | 4 | 2018 | 277,31 | 137 | 2,28 | -0,0058 |
| 13 | 34 | 19 | 4 | 2018 | 277,30 | 203 | 3,38 | -0,0064 |
| 14 | 33 | 19 | 4 | 2018 | 277,26 | 262 | 4,37 | -0,0085 |
| 15 | 37 | 19 | 4 | 2018 | 277,23 | 326 | 5,43 | -0,0101 |
| 17 | 4 | 19 | 4 | 2018 | 277,21 | 413 | 6,88 | -0,0111 |
| 21 | 4 | 19 | 4 | 2018 | 277,14 | 653 | 10,88 | -0,0148 |
| 8 | 58 | 20 | 4 | 2018 | 277,00 | 1367 | 22,78 | -0,0223 |
| 12 | 19 | 20 | 4 | 2018 | 276,95 | 1568 | 26,13 | -0,0249 |
| 14 | 44 | 20 | 4 | 2018 | 276,91 | 1713 | 28,55 | -0,0270 |
| 16 | 59 | 20 | 4 | 2018 | 276,86 | 1848 | 30,80 | -0,0297 |
| 23 | 38 | 20 | 4 | 2018 | 276,78 | 2247 | 37,45 | -0,0339 |
| 9 | 26 | 21 | 4 | 2018 | 276,64 | 2835 | 47,25 | -0,0413 |
| 11 | 35 | 21 | 4 | 2018 | 276,60 | 2964 | 49,40 | -0,0435 |
| 20 | 30 | 21 | 4 | 2018 | 276,48 | 3499 | 58,32 | -0,0498 |
| 12 | 31 | 22 | 4 | 2018 | 276,28 | 4460 | 74,33 | -0,0604 |
| 8 | 29 | 23 | 4 | 2018 | 276,01 | 5658 | 94,30 | -0,0747 |
| 14 | 34 | 23 | 4 | 2018 | 275,92 | 6023 | 100,38 | -0,0795 |
| 16 | 32 | 23 | 4 | 2018 | 275,87 | 6141 | 102,35 | -0,0822 |
| 8 | 46 | 24 | 4 | 2018 | 275,58 | 7115 | 118,58 | -0,0975 |
| 14 | 3 | 24 | 4 | 2018 | 275,47 | 7432 | 123,87 | -0,1034 |
| 16 | 50 | 24 | 4 | 2018 | 275,41 | 7599 | 126,65 | -0,1065 |
| 8 | 49 | 26 | 4 | 2018 | 274,83 | 9998 | 166,63 | -0,1373 |
| 17 | 4 | 26 | 4 | 2018 | 274,66 | 10493 | 174,88 | -0,1463 |
| 8 | 46 | 27 | 4 | 2018 | 274,41 | 11435 | 190,58 | -0,1596 |
| 14 | 56 | 27 | 4 | 2018 | 274,30 | 11805 | 196,75 | -0,1654 |
| 9 | 17 | 28 | 4 | 2018 | 274,02 | 12906 | 215,10 | -0,1802 |
| 9 | 16 | 29 | 4 | 2018 | 273,67 | 14345 | 239,08 | -0,1988 |
| 8 | 39 | 30 | 4 | 2018 | 273,30 | 15748 | 262,47 | -0,2184 |
| 19 | 12 | 30 | 4 | 2018 | 273,10 | 16381 | 273,02 | -0,2290 |
| 9 | 12 | 1 | 5 | 2018 | 272,89 | 17221 | 287,02 | -0,2401 |
| 8 | 40 | 2 | 5 | 2018 | 272,48 | 18629 | 310,48 | -0,2619 |
| 13 | 37 | 2 | 5 | 2018 | 272,39 | 18926 | 315,43 | -0,2666 |
| 16 | 37 | 2 | 5 | 2018 | 272,33 | 19106 | 318,43 | -0,2698 |
| 8 | 41 | 3 | 5 | 2018 | 272,07 | 20070 | 334,50 | -0,2836 |
| 17 | 6 | 3 | 5 | 2018 | 271,90 | 20575 | 342,92 | -0,2926 |
| 8 | 45 | 4 | 5 | 2018 | 271,66 | 21514 | 358,57 | -0,3053 |
| 11 | 56 | 4 | 5 | 2018 | 271,57 | 21705 | 361,75 | -0,3101 |
| 16 | 57 | 4 | 5 | 2018 | 271,44 | 22006 | 366,77 | -0,3170 |
| 15 | 48 | 5 | 5 | 2018 | 271,07 | 23377 | 389,62 | -0,3366 |
| 9 | 46 | 7 | 5 | 2018 | 270,40 | 25895 | 431,58 | -0,3721 |
| 13 | 44 | 7 | 5 | 2018 | 270,30 | 26133 | 435,55 | -0,3774 |
| 9 | 49 | 8 | 5 | 2018 | 269,89 | 27338 | 455,63 | -0,3991 |
| 14 | 42 | 8 | 5 | 2018 | 269,76 | 27631 | 460,52 | -0,4060 |
| 10 | 23 | 10 | 5 | 2018 | 268,78 | 30252 | 504,20 | -0,4580 |
| 15 | 40 | 10 | 5 | 2018 | 268,60 | 30569 | 509,48 | -0,4675 |
| 10 | 19 | 11 | 5 | 2018 | 268,09 | 31688 | 528,13 | -0,4946 |
| 8 | 29 | 14 | 5 | 2018 | 266,12 | 35898 | 598,30 | -0,5990 |
| 8 | 26 | 15 | 5 | 2018 | 265,49 | 37335 | 622,25 | -0,6324 |
| 8 | 31 | 16 | 5 | 2018 | 264,90 | 38780 | 646,33 | -0,6637 |
| 8 | 24 | 17 | 5 | 2018 | 264,48 | 40213 | 670,22 | -0,6859 |
| 8 | 25 | 18 | 5 | 2018 | 264,13 | 41654 | 694,23 | -0,7045 |
| 8 | 25 | 21 | 5 | 2018 | 263,34 | 45974 | 766,23 | -0,7464 |
| 8 | 25 | 23 | 5 | 2018 | 262,92 | 48854 | 814,23 | -0,7686 |
| 8 | 40 | 24 | 5 | 2018 | 262,75 | 50309 | 838,48 | -0,7776 |
| 9 | 4 | 25 | 5 | 2018 | 262,59 | 51773 | 862,88 | -0,7861 |
| 8 | 28 | 1 | 6 | 2018 | 262,23 | 60377 | 1006,28 | -0,8052 |
| 8 | 40 | 8 | 6 | 2018 | 262,21 | 70469 | 1174,48 | -0,8063 |

Dados do provete SPO8

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 277,42 |
| Secção (cm ²) | 18,87 |
| Altura (cm) | 6,03 |
| Saturação crítica (%) | 26 |

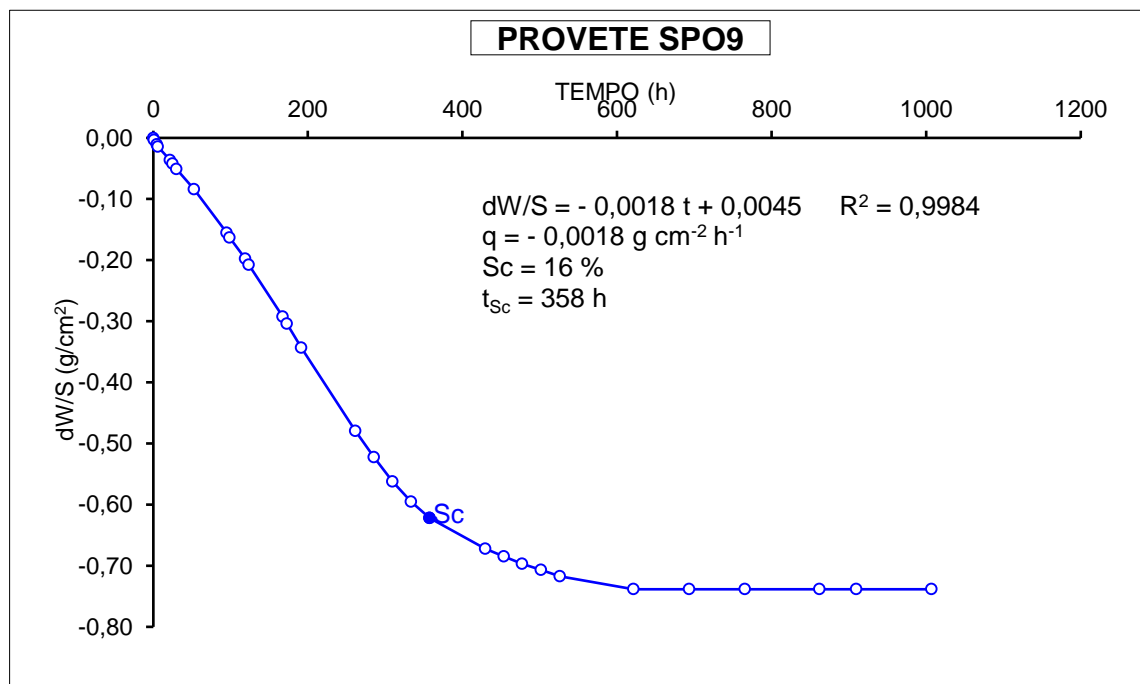


Anexo 67 - Ensaio de evaporação – Provete SPO9

| PROVETE SPO9 | | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 5 | 3 | 5 | 2018 | 279,62 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 12 | 3 | 3 | 5 | 2018 | 279,56 | 58 | 0,97 | -0,0032 |
| 15 | 51 | 3 | 5 | 2018 | 279,42 | 286 | 4,77 | -0,0107 |
| 17 | 15 | 3 | 5 | 2018 | 279,35 | 370 | 6,17 | -0,0144 |
| 8 | 57 | 4 | 5 | 2018 | 278,94 | 1312 | 21,87 | -0,0363 |
| 12 | 10 | 4 | 5 | 2018 | 278,83 | 1505 | 25,08 | -0,0422 |
| 17 | 8 | 4 | 5 | 2018 | 278,66 | 1803 | 30,05 | -0,0513 |
| 15 | 57 | 5 | 5 | 2018 | 278,05 | 3172 | 52,87 | -0,0838 |
| 10 | 0 | 7 | 5 | 2018 | 276,71 | 5695 | 94,92 | -0,1554 |
| 13 | 55 | 7 | 5 | 2018 | 276,56 | 5930 | 98,83 | -0,1634 |
| 10 | 2 | 8 | 5 | 2018 | 275,92 | 7137 | 118,95 | -0,1976 |
| 14 | 54 | 8 | 5 | 2018 | 275,73 | 7429 | 123,82 | -0,2077 |
| 10 | 37 | 10 | 5 | 2018 | 274,14 | 10052 | 167,53 | -0,2926 |
| 15 | 52 | 10 | 5 | 2018 | 273,93 | 10367 | 172,78 | -0,3038 |
| 10 | 32 | 11 | 5 | 2018 | 273,19 | 11487 | 191,45 | -0,3434 |
| 8 | 42 | 14 | 5 | 2018 | 270,64 | 15697 | 261,62 | -0,4795 |
| 8 | 41 | 15 | 5 | 2018 | 269,84 | 17136 | 285,60 | -0,5222 |
| 8 | 42 | 16 | 5 | 2018 | 269,09 | 18577 | 309,62 | -0,5623 |
| 8 | 36 | 17 | 5 | 2018 | 268,47 | 20011 | 333,52 | -0,5954 |
| 8 | 37 | 18 | 5 | 2018 | 267,97 | 21452 | 357,53 | -0,6221 |
| 8 | 37 | 21 | 5 | 2018 | 267,03 | 25772 | 429,53 | -0,6723 |
| 8 | 38 | 22 | 5 | 2018 | 266,79 | 27213 | 453,55 | -0,6851 |
| 8 | 36 | 23 | 5 | 2018 | 266,57 | 28651 | 477,52 | -0,6969 |
| 8 | 50 | 24 | 5 | 2018 | 266,38 | 30105 | 501,75 | -0,7070 |
| 9 | 15 | 25 | 5 | 2018 | 266,19 | 31570 | 526,17 | -0,7172 |
| 8 | 42 | 29 | 5 | 2018 | 265,79 | 37297 | 621,62 | -0,7385 |
| 8 | 41 | 1 | 6 | 2018 | 265,79 | 41616 | 693,60 | -0,7385 |
| 8 | 45 | 4 | 6 | 2018 | 265,79 | 45940 | 765,67 | -0,7385 |
| 9 | 2 | 8 | 6 | 2018 | 265,79 | 51717 | 861,95 | -0,7385 |
| 8 | 36 | 11 | 6 | 2018 | 265,79 | 54571 | 909,52 | -0,7385 |
| 10 | 11 | 15 | 6 | 2018 | 265,79 | 60426 | 1007,10 | -0,7385 |

Dados do provete SPO9

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 279,62 |
| Secção (cm ²) | 18,73 |
| Altura (cm) | 6,02 |
| Saturação crítica (%) | 16 |

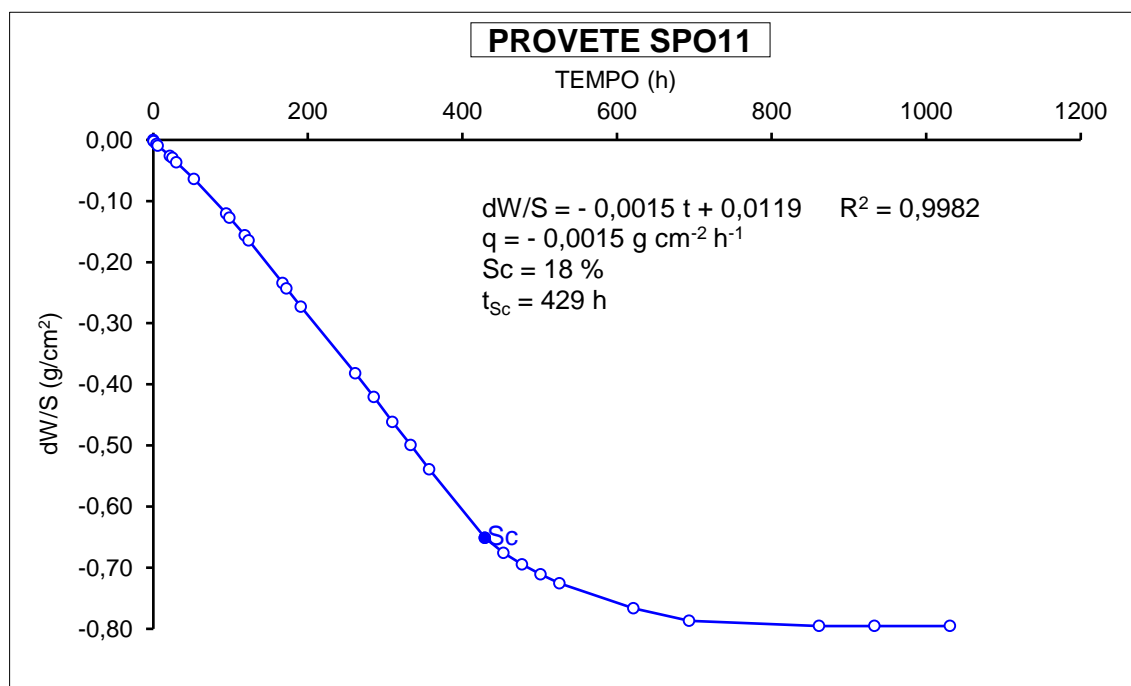


Anexo 68 - Ensaio de evaporação – Provete SPO11

| PROVETE SPO11 | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | dW/S |
| 11 | 22,00 | 3 | 5 | 2018 | 279,48 | 0 | 0,0000 |
| 12 | 6,00 | 3 | 5 | 2018 | 279,44 | 44 | -0,0021 |
| 15 | 54,00 | 3 | 5 | 2018 | 279,35 | 272 | -0,0069 |
| 17 | 17,00 | 3 | 5 | 2018 | 279,30 | 355 | -0,0095 |
| 9 | 1,00 | 4 | 5 | 2018 | 278,98 | 1299 | -0,0265 |
| 12 | 13,00 | 4 | 5 | 2018 | 278,92 | 1491 | -0,0297 |
| 17 | 12,00 | 4 | 5 | 2018 | 278,79 | 1790 | -0,0366 |
| 15 | 59,00 | 5 | 5 | 2018 | 278,27 | 3157 | -0,0642 |
| 10 | 4,00 | 7 | 5 | 2018 | 277,21 | 5682 | -0,1204 |
| 13 | 59,00 | 7 | 5 | 2018 | 277,08 | 5917 | -0,1273 |
| 10 | 6,00 | 8 | 5 | 2018 | 276,53 | 7124 | -0,1564 |
| 14 | 58,00 | 8 | 5 | 2018 | 276,38 | 7416 | -0,1644 |
| 10 | 42,00 | 10 | 5 | 2018 | 275,06 | 10040 | -0,2344 |
| 15 | 55,00 | 10 | 5 | 2018 | 274,89 | 10353 | -0,2434 |
| 10 | 36,00 | 11 | 5 | 2018 | 274,33 | 11474 | -0,2731 |
| 8 | 46,00 | 14 | 5 | 2018 | 272,28 | 15684 | -0,3818 |
| 8 | 44,00 | 15 | 5 | 2018 | 271,55 | 17122 | -0,4205 |
| 8 | 45,00 | 16 | 5 | 2018 | 270,78 | 18563 | -0,4614 |
| 8 | 39,00 | 17 | 5 | 2018 | 270,06 | 19997 | -0,4995 |
| 8 | 41,00 | 18 | 5 | 2018 | 269,31 | 21439 | -0,5393 |
| 8 | 40,00 | 21 | 5 | 2018 | 267,20 | 25758 | -0,6512 |
| 8 | 41,00 | 22 | 5 | 2018 | 266,74 | 27199 | -0,6756 |
| 8 | 39,00 | 23 | 5 | 2018 | 266,38 | 28637 | -0,6947 |
| 8 | 53,00 | 24 | 5 | 2018 | 266,07 | 30091 | -0,7111 |
| 9 | 18,00 | 25 | 5 | 2018 | 265,80 | 31556 | -0,7254 |
| 8 | 45,00 | 29 | 5 | 2018 | 265,03 | 37283 | -0,7663 |
| 8 | 55,00 | 1 | 6 | 2018 | 264,64 | 41613 | -0,7870 |
| 9 | 9,00 | 8 | 6 | 2018 | 264,48 | 51707 | -0,7954 |
| 8 | 40,00 | 11 | 6 | 2018 | 264,48 | 55998 | -0,7954 |
| 10 | 15,00 | 15 | 6 | 2018 | 264,48 | 61853 | -0,7954 |

Dados do provete SPO11

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 279,48 |
| Secção (cm ²) | 18,86 |
| Altura (cm) | 6,04 |
| Saturação crítica (%) | 18 |

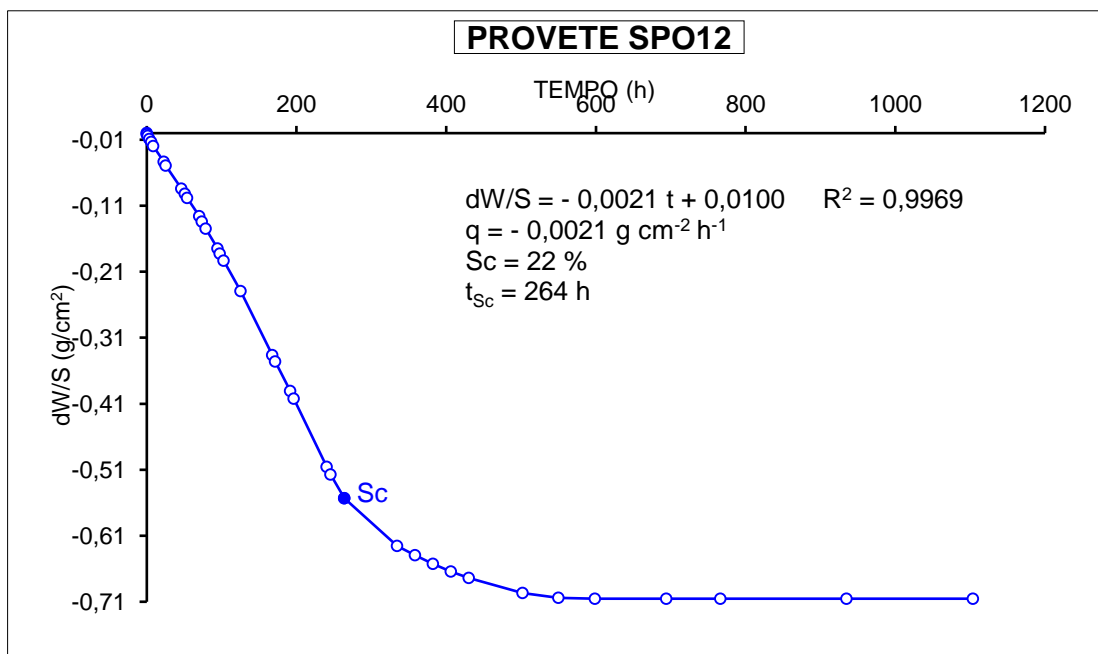


Anexo 69 - Ensaio de evaporação – Provete SPO12

| PROVETE SPO12 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 27 | 30 | 4 | 2018 | 281,63 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 10 | 46 | 30 | 4 | 2018 | 281,6 | 19 | 0,32 | -0,0016 |
| 11 | 57 | 30 | 4 | 2018 | 281,55 | 90 | 1,50 | -0,0042 |
| 14 | 10 | 30 | 4 | 2018 | 281,46 | 223 | 3,72 | -0,0090 |
| 16 | 32 | 30 | 4 | 2018 | 281,38 | 365 | 6,08 | -0,0132 |
| 19 | 14 | 30 | 4 | 2018 | 281,26 | 527 | 8,78 | -0,0195 |
| 9 | 16 | 1 | 5 | 2018 | 280,81 | 1369 | 22,82 | -0,0433 |
| 11 | 45 | 1 | 5 | 2018 | 280,7 | 1518 | 25,30 | -0,0491 |
| 8 | 45 | 2 | 5 | 2018 | 280,04 | 2778 | 46,30 | -0,0840 |
| 13 | 41 | 2 | 5 | 2018 | 279,89 | 3074 | 51,23 | -0,0919 |
| 16 | 40 | 2 | 5 | 2018 | 279,77 | 3253 | 54,22 | -0,0983 |
| 8 | 45 | 3 | 5 | 2018 | 279,25 | 4218 | 70,30 | -0,1257 |
| 12 | 10 | 3 | 5 | 2018 | 279,09 | 4423 | 73,72 | -0,1342 |
| 17 | 20 | 3 | 5 | 2018 | 278,89 | 4733 | 78,88 | -0,1448 |
| 9 | 5 | 4 | 5 | 2018 | 278,32 | 5678 | 94,63 | -0,1749 |
| 12 | 16 | 4 | 5 | 2018 | 278,17 | 5869 | 97,82 | -0,1828 |
| 17 | 16 | 4 | 5 | 2018 | 277,97 | 6169 | 102,82 | -0,1934 |
| 16 | 1 | 5 | 5 | 2018 | 277,1 | 7534 | 125,57 | -0,2393 |
| 10 | 8 | 7 | 5 | 2018 | 275,26 | 10061 | 167,68 | -0,3366 |
| 14 | 3 | 7 | 5 | 2018 | 275,08 | 10296 | 171,60 | -0,3461 |
| 10 | 10 | 8 | 5 | 2018 | 274,23 | 11503 | 191,72 | -0,3910 |
| 15 | 2 | 8 | 5 | 2018 | 274,01 | 11795 | 196,58 | -0,4026 |
| 10 | 46 | 10 | 5 | 2018 | 272,06 | 14419 | 240,32 | -0,5056 |
| 15 | 58 | 10 | 5 | 2018 | 271,84 | 14731 | 245,52 | -0,5173 |
| 10 | 39 | 11 | 5 | 2018 | 271,16 | 15852 | 264,20 | -0,5532 |
| 8 | 50 | 14 | 5 | 2018 | 269,79 | 20063 | 334,38 | -0,6256 |
| 8 | 49 | 15 | 5 | 2018 | 269,52 | 21502 | 358,37 | -0,6398 |
| 8 | 49 | 16 | 5 | 2018 | 269,28 | 22942 | 382,37 | -0,6525 |
| 8 | 43 | 17 | 5 | 2018 | 269,06 | 24376 | 406,27 | -0,6641 |
| 8 | 44 | 18 | 5 | 2018 | 268,87 | 25817 | 430,28 | -0,6742 |
| 8 | 43 | 21 | 5 | 2018 | 268,44 | 30136 | 502,27 | -0,6969 |
| 8 | 41 | 23 | 5 | 2018 | 268,3 | 33014 | 550,23 | -0,7043 |
| 9 | 23 | 25 | 5 | 2018 | 268,28 | 35936 | 598,93 | -0,7054 |
| 8 | 47 | 29 | 5 | 2018 | 268,28 | 41660 | 694,33 | -0,7054 |
| 8 | 58 | 1 | 6 | 2018 | 268,28 | 45991 | 766,52 | -0,7054 |
| 9 | 16 | 8 | 6 | 2018 | 268,28 | 56089 | 934,82 | -0,7054 |
| 10 | 18 | 15 | 6 | 2018 | 268,28 | 66231 | 1103,85 | -0,7054 |

Dados do provete SPO12

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 281,63 |
| Secção (cm ²) | 18,93 |
| Altura (cm) | 6,00 |
| Saturação crítica (%) | 22 |

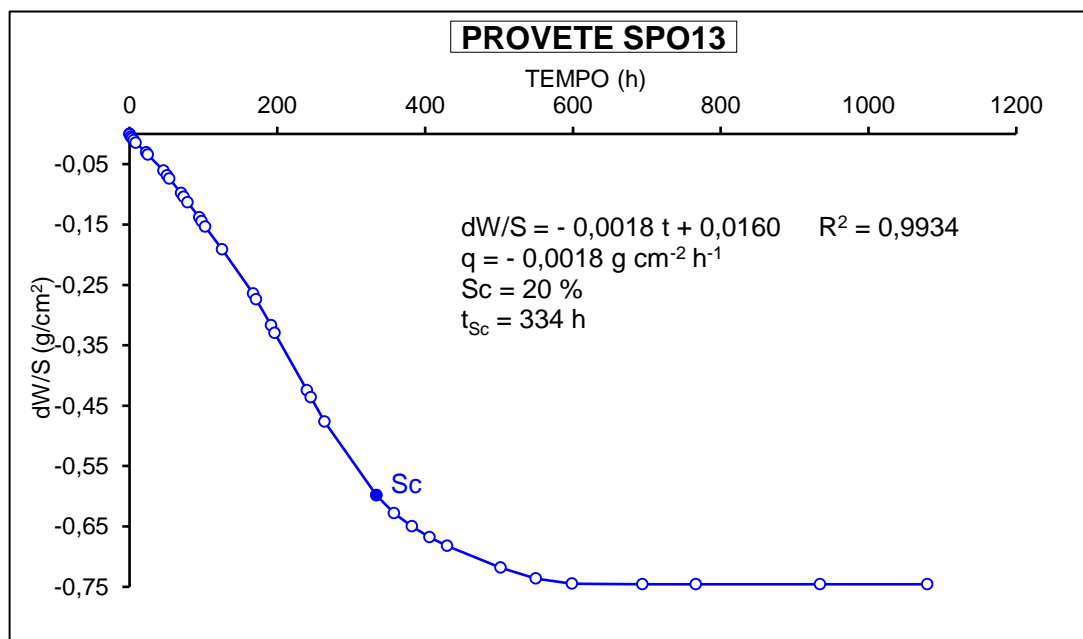


Anexo 70 - Ensaio de evaporação – Provete SPO13

| PROVETE SPO13 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 10 | 43 | 30 | 4 | 2018 | 282,44 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 2 | 30 | 4 | 2018 | 282,42 | 19 | 0,32 | -0,0011 |
| 12 | 32 | 30 | 4 | 2018 | 282,35 | 109 | 1,82 | -0,0047 |
| 14 | 13 | 30 | 4 | 2018 | 282,30 | 210 | 3,50 | -0,0074 |
| 16 | 34 | 30 | 4 | 2018 | 282,24 | 351 | 5,85 | -0,0105 |
| 19 | 17 | 30 | 4 | 2018 | 282,16 | 514 | 8,57 | -0,0147 |
| 9 | 20 | 1 | 5 | 2018 | 281,86 | 1357 | 22,62 | -0,0305 |
| 11 | 46 | 1 | 5 | 2018 | 281,79 | 1503 | 25,05 | -0,0342 |
| 8 | 49 | 2 | 5 | 2018 | 281,28 | 2766 | 46,10 | -0,0611 |
| 13 | 45 | 2 | 5 | 2018 | 281,13 | 3062 | 51,03 | -0,0690 |
| 16 | 44 | 2 | 5 | 2018 | 281,03 | 3241 | 54,02 | -0,0743 |
| 8 | 49 | 3 | 5 | 2018 | 280,58 | 4206 | 70,10 | -0,0980 |
| 12 | 12 | 3 | 5 | 2018 | 280,46 | 4409 | 73,48 | -0,1043 |
| 17 | 23 | 3 | 5 | 2018 | 280,29 | 4720 | 78,67 | -0,1132 |
| 9 | 9 | 4 | 5 | 2018 | 279,81 | 5666 | 94,43 | -0,1385 |
| 12 | 19 | 4 | 5 | 2018 | 279,69 | 5856 | 97,60 | -0,1448 |
| 17 | 19 | 4 | 5 | 2018 | 279,52 | 6156 | 102,60 | -0,1538 |
| 16 | 3 | 5 | 5 | 2018 | 278,81 | 7520 | 125,33 | -0,1912 |
| 10 | 12 | 7 | 5 | 2018 | 277,42 | 10049 | 167,48 | -0,2644 |
| 14 | 7 | 7 | 5 | 2018 | 277,24 | 10284 | 171,40 | -0,2739 |
| 10 | 14 | 8 | 5 | 2018 | 276,42 | 11491 | 191,52 | -0,3170 |
| 15 | 6 | 8 | 5 | 2018 | 276,18 | 11783 | 196,38 | -0,3297 |
| 10 | 51 | 10 | 5 | 2018 | 274,38 | 14408 | 240,13 | -0,4245 |
| 16 | 1 | 10 | 5 | 2018 | 274,16 | 14718 | 245,30 | -0,4361 |
| 10 | 43 | 11 | 5 | 2018 | 273,39 | 15840 | 264,00 | -0,4766 |
| 8 | 54 | 14 | 5 | 2018 | 271,07 | 20051 | 334,18 | -0,5988 |
| 8 | 52 | 15 | 5 | 2018 | 270,51 | 21489 | 358,15 | -0,6283 |
| 8 | 53 | 16 | 5 | 2018 | 270,10 | 22930 | 382,17 | -0,6499 |
| 8 | 46 | 17 | 5 | 2018 | 269,76 | 24363 | 406,05 | -0,6678 |
| 8 | 48 | 18 | 5 | 2018 | 269,48 | 25805 | 430,08 | -0,6825 |
| 8 | 47 | 21 | 5 | 2018 | 268,80 | 30124 | 502,07 | -0,7183 |
| 8 | 44 | 23 | 5 | 2018 | 268,46 | 33001 | 550,02 | -0,7362 |
| 9 | 26 | 25 | 5 | 2018 | 268,30 | 35923 | 598,72 | -0,7447 |
| 8 | 49 | 29 | 5 | 2018 | 268,28 | 41646 | 694,10 | -0,7457 |
| 9 | 2 | 1 | 6 | 2018 | 268,28 | 45979 | 766,32 | -0,7457 |
| 9 | 23 | 8 | 6 | 2018 | 268,28 | 56080 | 934,67 | -0,7457 |
| 10 | 21 | 15 | 6 | 2018 | 268,28 | 64778 | 1079,63 | -0,7457 |

Dados do provete SPO13

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 282,44 |
| Secção (cm ²) | 18,99 |
| Altura (cm) | 6,04 |
| Saturação crítica (%) | 20 |

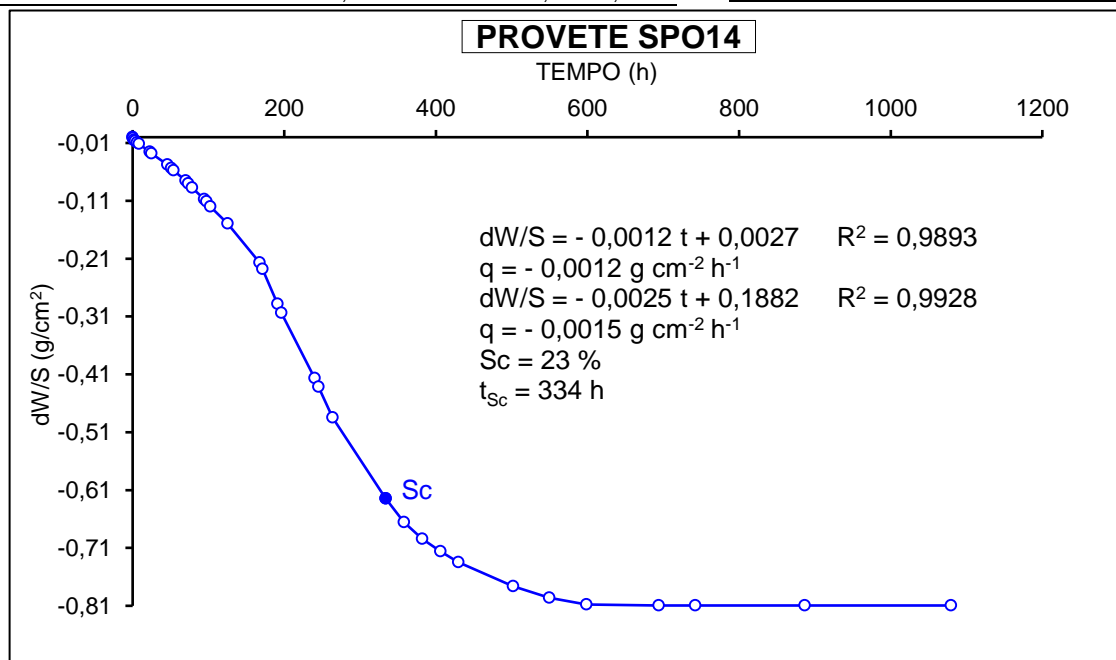


Anexo 71 - Ensaio de evaporação – Provete SPO14

| PROVETE SPO14 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 0 | 30 | 4 | 2018 | 278,32 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 17 | 30 | 4 | 2018 | 278,29 | 17 | 0,28 | -0,0016 |
| 12 | 35 | 30 | 4 | 2018 | 278,23 | 95 | 1,58 | -0,0048 |
| 14 | 15 | 30 | 4 | 2018 | 278,20 | 195 | 3,25 | -0,0064 |
| 16 | 36 | 30 | 4 | 2018 | 278,15 | 336 | 5,60 | -0,0090 |
| 19 | 18 | 30 | 4 | 2018 | 278,10 | 498 | 8,30 | -0,0117 |
| 9 | 25 | 1 | 5 | 2018 | 277,84 | 1345 | 22,42 | -0,0254 |
| 11 | 48 | 1 | 5 | 2018 | 277,79 | 1488 | 24,80 | -0,0281 |
| 8 | 53 | 2 | 5 | 2018 | 277,42 | 2753 | 45,88 | -0,0477 |
| 13 | 48 | 2 | 5 | 2018 | 277,31 | 3048 | 50,80 | -0,0535 |
| 16 | 47 | 2 | 5 | 2018 | 277,24 | 3227 | 53,78 | -0,0572 |
| 8 | 52 | 3 | 5 | 2018 | 276,90 | 4192 | 69,87 | -0,0753 |
| 12 | 16 | 3 | 5 | 2018 | 276,81 | 4396 | 73,27 | -0,0800 |
| 17 | 25 | 3 | 5 | 2018 | 276,67 | 4705 | 78,42 | -0,0875 |
| 9 | 12 | 4 | 5 | 2018 | 276,30 | 5652 | 94,20 | -0,1071 |
| 12 | 22 | 4 | 5 | 2018 | 276,22 | 5842 | 97,37 | -0,1113 |
| 17 | 22 | 4 | 5 | 2018 | 276,06 | 6142 | 102,37 | -0,1198 |
| 16 | 4 | 5 | 5 | 2018 | 275,50 | 7504 | 125,07 | -0,1495 |
| 10 | 15 | 7 | 5 | 2018 | 274,23 | 10035 | 167,25 | -0,2168 |
| 14 | 10 | 7 | 5 | 2018 | 274,02 | 10270 | 171,17 | -0,2279 |
| 10 | 17 | 8 | 5 | 2018 | 272,88 | 11477 | 191,28 | -0,2884 |
| 15 | 10 | 8 | 5 | 2018 | 272,59 | 11770 | 196,17 | -0,3037 |
| 10 | 55 | 10 | 5 | 2018 | 270,46 | 14395 | 239,92 | -0,4166 |
| 16 | 4 | 10 | 5 | 2018 | 270,18 | 14704 | 245,07 | -0,4315 |
| 10 | 46 | 11 | 5 | 2018 | 269,18 | 15826 | 263,77 | -0,4845 |
| 8 | 57 | 14 | 5 | 2018 | 266,54 | 20037 | 333,95 | -0,6244 |
| 8 | 59 | 15 | 5 | 2018 | 265,77 | 21479 | 357,98 | -0,6652 |
| 8 | 57 | 16 | 5 | 2018 | 265,22 | 22917 | 381,95 | -0,6944 |
| 8 | 50 | 17 | 5 | 2018 | 264,81 | 24350 | 405,83 | -0,7161 |
| 8 | 53 | 18 | 5 | 2018 | 264,46 | 25793 | 429,88 | -0,7347 |
| 8 | 51 | 21 | 5 | 2018 | 263,68 | 30111 | 501,85 | -0,7760 |
| 8 | 47 | 23 | 5 | 2018 | 263,30 | 32987 | 549,78 | -0,7962 |
| 9 | 29 | 25 | 5 | 2018 | 263,08 | 35909 | 598,48 | -0,8078 |
| 8 | 53 | 29 | 5 | 2018 | 263,05 | 41633 | 693,88 | -0,8094 |
| 9 | 5 | 1 | 6 | 2018 | 263,05 | 44525 | 742,08 | -0,8094 |
| 9 | 29 | 8 | 6 | 2018 | 263,05 | 53189 | 886,48 | -0,8094 |
| 10 | 25 | 15 | 6 | 2018 | 263,05 | 64765 | 1079,42 | -0,8094 |

Dados do provete SPO14

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 278,32 |
| Secção (cm ²) | 18,87 |
| Altura (cm) | 5,99 |
| Saturação crítica (%) | 23 |



Anexo 72 - Ensaio de evaporação – Provete SPO15

| PROVETE SPO15 | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|------|--------|---------|---------|---------|
| Hora | Minuto | Dia | Mês | Ano | Peso | Minutos | Horas | dW/S |
| 11 | 15 | 30 | 4 | 2018 | 283,16 | 0 | 0,00 | 0,0000 |
| 11 | 55 | 30 | 4 | 2018 | 283,14 | 40 | 0,67 | -0,0011 |
| 14 | 17 | 30 | 4 | 2018 | 283,07 | 182 | 3,03 | -0,0048 |
| 16 | 37 | 30 | 4 | 2018 | 282,99 | 322 | 5,37 | -0,0090 |
| 19 | 20 | 30 | 4 | 2018 | 282,93 | 485 | 8,08 | -0,0122 |
| 9 | 28 | 1 | 5 | 2018 | 282,69 | 1333 | 22,22 | -0,0249 |
| 11 | 50 | 1 | 5 | 2018 | 282,62 | 1475 | 24,58 | -0,0286 |
| 8 | 57 | 2 | 5 | 2018 | 282,05 | 2742 | 45,70 | -0,0587 |
| 13 | 51 | 2 | 5 | 2018 | 281,94 | 3036 | 50,60 | -0,0646 |
| 16 | 51 | 2 | 5 | 2018 | 281,86 | 3216 | 53,60 | -0,0688 |
| 8 | 56 | 3 | 5 | 2018 | 281,46 | 4181 | 69,68 | -0,0900 |
| 12 | 19 | 3 | 5 | 2018 | 281,35 | 4384 | 73,07 | -0,0958 |
| 17 | 27 | 3 | 5 | 2018 | 281,20 | 4692 | 78,20 | -0,1037 |
| 9 | 15 | 4 | 5 | 2018 | 280,77 | 5640 | 94,00 | -0,1265 |
| 12 | 25 | 4 | 5 | 2018 | 280,68 | 5830 | 97,17 | -0,1312 |
| 17 | 25 | 4 | 5 | 2018 | 280,51 | 6130 | 102,17 | -0,1402 |
| 16 | 6 | 5 | 5 | 2018 | 279,93 | 7491 | 124,85 | -0,1709 |
| 10 | 19 | 7 | 5 | 2018 | 278,64 | 10024 | 167,07 | -0,2392 |
| 14 | 15 | 7 | 5 | 2018 | 278,45 | 10260 | 171,00 | -0,2493 |
| 10 | 21 | 8 | 5 | 2018 | 277,51 | 11466 | 191,10 | -0,2990 |
| 15 | 14 | 8 | 5 | 2018 | 277,27 | 11759 | 195,98 | -0,3117 |
| 10 | 58 | 10 | 5 | 2018 | 275,48 | 14383 | 239,72 | -0,4064 |
| 16 | 7 | 10 | 5 | 2018 | 275,19 | 14692 | 244,87 | -0,4218 |
| 10 | 50 | 11 | 5 | 2018 | 274,23 | 15815 | 263,58 | -0,4726 |
| 9 | 0 | 14 | 5 | 2018 | 272,10 | 20025 | 333,75 | -0,5853 |
| 9 | 2 | 15 | 5 | 2018 | 271,66 | 21467 | 357,78 | -0,6086 |
| 9 | 0 | 16 | 5 | 2018 | 271,30 | 22905 | 381,75 | -0,6276 |
| 8 | 52 | 17 | 5 | 2018 | 270,98 | 24337 | 405,62 | -0,6446 |
| 8 | 55 | 18 | 5 | 2018 | 270,70 | 25780 | 429,67 | -0,6594 |
| 8 | 54 | 21 | 5 | 2018 | 270,05 | 30099 | 501,65 | -0,6938 |
| 8 | 49 | 23 | 5 | 2018 | 269,81 | 32974 | 549,57 | -0,7065 |
| 9 | 33 | 25 | 5 | 2018 | 269,76 | 35898 | 598,30 | -0,7091 |
| 8 | 55 | 29 | 5 | 2018 | 269,75 | 41620 | 693,67 | -0,7097 |
| 9 | 8 | 1 | 6 | 2018 | 269,75 | 44513 | 741,88 | -0,7097 |
| 9 | 36 | 8 | 6 | 2018 | 269,75 | 54621 | 910,35 | -0,7097 |
| 10 | 28 | 15 | 6 | 2018 | 269,75 | 64753 | 1079,22 | -0,7097 |

Dados do provete SPO15

| | |
|---------------------------|--------|
| Peso (g) | 283,16 |
| Secção (cm ²) | 18,90 |
| Altura (cm) | 6,05 |
| Saturação crítica (%) | 33 |

